Е. М. КОВАРСКИЙ

РЕМОНТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

Е. М. КОВАРСКИЙ

РЕМОНТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

Издание четвертое пересмотренное и дополненное



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКВА 1960 ЛЕНИНГРАД

В книге рассматриваются технология ремонта электрических машин постоянного и переменного тока, испытание машин после ремонта, обнаружение неисправностей в электрических машинах.

Приводятся сведения о материалах, инструментах и приспособлениях, применяемых при ремонтах.

Кратко рассматривается теория обмоток электрических машин.

Книга рассчитана на техников, работающих в области ремонта электрических машин.

Автор *Ефим Михайлович Коварский*

РЕМОНТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

* * *

Редактор *В. И. Тимохина* Техн. редактор *Г. Е. Ларионов*

Сдано в пр-во 14/XII 1959 г. Подписано к печати 5/III 1960 г.
Формат бумаги $84 \times 108^1/_{32}$ 13,5 п. л. 15,6 уч.-изд. л.
Т-02775 Тираж 35 000 Цена 8 р. 80 к. Зак. № 645

Типография Госэнергоиздата. Москва, Шлюзовая наб., 10.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Цель книги — дать основные сведения по технологии ремонтных работ и о применяемых для этой цели материалах.

Кроме того, в книге даются элементарные сведения по теории обмоток, а также сведения о способах обнаружения неисправностей электрических машин и влиянии их на рабочие свойства и поведение машины в эксплуатации. Такой состав материала способствует расширению кругозора ремонтного персонала и тем самым сознательному, творческому подходу к выполняемой работе.

В связи с ограниченным объемом в книге не затрагиваются вопросы организации ремонтных цехов и восстановления обмоточных проводов. Литература по этим вопросам указана в списке в конце книги.

Автор будет благодарен за критические замечания по содержанию книги, которые следует направлять по адресу: Москва, Шлюзовая набережная, д. 10, Госэнергоиздат.

Автор

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ

Лучшим способом обеспечения производительной безаварийной работы электрических машин является организация системы планово-предупредительного ремонта (ППР) машин, включающая ряд мероприятий, проводимых по заранее составленному графику. К числу этих мероприятий относятся: осмотры, текущие и капитальные ремонты. Сроки проведения этих мероприятий обычно устанавливаются ведомственными инструкциями.

Объем ремонта (в особенности капитального) определяется на основании тщательной проверки состояния электрической машины. Только при тщательной проверке можно правильно наметить ремонтные работы, обеспечивающие безаварийную эксплуатацию. Такая проверка в особенности необходима в том случае, если ремонт является внеплановым и вызван какой-либо неисправностью (ненормальностью) в работе электрической машины. Такие неисправности могут выражаться в следующих явлениях:

1) изменение характеристик машин, т. е. числа оборотов и вращающего момента у двигателя и напряжения у генератора;

2) неустойчивость этих характеристик, т. е. недопустимые колебания числа оборотов или напряжения;

3) недопустимо высокий общий или местный перегрев машины;

4) механические сотрясения (вибрации);

5) сильный шум;

6) искрение под щетками коллекторных машин.

Причины ненормального режима работы могут быть внешние, не требующие ремонта самой машины, и внутренние, связанные с повреждением каких-либо частей машины, требующих ремонта.

К числу внешних причин относятся:

1) перегрузка машины;

2) пониженное или повышенное напряжение сети (для двигателей) или число оборотов (для генераторов);

3) обрыв питающих проводов (например, одной фазы трехфазной системы или питания обмотки возбуждения у двигателей постоянного тока);

4) неисправность аппаратуры управления и пуска;

5) высокая температура окружающей среды, содержание в этой среде пыли, влаги, вредных для машины паров, газов и т. д.

Внутренние причины неисправности машины могут быть следующие:

1) неисправности обмоток — пробой изоляции на корпус или между обмотками, замыкание между витками или группой витков, неправильное соединение отдельных частей обмоток (секций, катушек) между собой или с коллектором, плохое соединение проводников или обрыв обмотки;

2) неисправности бандажей — ослабление, сползание, разрывы;

3) неисправность токоснимающих деталей (коллекторов, контактных колец, щеткодержателей) — нарушение цилиндричности, биение, разрушение рабочей поверхности коллекторов и колец, пробой изоляции этих деталей, механические и электрические неисправности щеткодержателей;

4) неисправности активной стали — ослабление прессовки, замыкание между листами;

5) неисправности механических частей — износ трущихся частей подшипников, шеек валов, искривления и поломка валов, трещины в щитах, стойках и т. д.;

6) неуравновешенность вращающихся частей.

Для обнаружения причин неисправностей электрических машин ниже приводятся табл. В-1, В-2 и В-3, в которых неисправности, их причины и способы выявления помещены в систематической последовательности.

Если установлено, что неисправность является следствием внутренних причин и необходим ремонт, то второй задачей является окончательное определение места, характера и причины повреждения. Способы обнаружения неисправностей деталей электрической машины и причин, их вызывающих, приведены в разделах, посвященных ремонту этих деталей.

Таблица В-1

Неисправности машин постоянного тока

Неисправность	Возможная причина	Выявление причины и устранение неисправности
1. Генератор не возбуждается	1. Неправильное направление вращения	Проверить направление вращения
	2. Низкое число оборотов в минуту	Проверить число оборотов
	3. Обратное включение обмотки возбуждения	Переключить концы обмотки возбуждения
	4. Потеря остаточного магнетизма	Проверить напряжение при разомкнутой обмотке возбуждения. Подмагнитить
	5. Плохая притирка щеток. Слабое давление щеток на коллектор. Непродороженный коллектор	Проверить качество притирки щеток, нажим щеток и качество продорожки коллектора
	6. Обрыв цепи обмотки возбуждения	Проверить сопротивление цепи обмотки возбуждения (включая реостаты, провода и т. п.)
	7. Слишком высокое сопротивление цепи обмотки возбуждения	То же
	8. Замыкание обмотки возбуждения на корпус или на другие обмотки	Проверить изоляцию обмотки возбуждения относительно корпуса и других обмоток
	9. Замыкание между витками обмотки якоря	Проверить (на неподвижном якоре) на ощупь равномерность нагрева его поверхности Проверить якорь методом магнитного ярма или милливольтметра (см. гл. 4). Проверить сопротивление изоляции якоря
	10. Замыкание во внешней цепи (выводы, щиток, линия и т. д.)	Проверить схему

Продолжение табл. В-1

Неисправность	Возможная причина	Выявление причины и устранение неисправности
II. Генератор при холостом ходе дает низкое напряжение	См. I, пп. 2, 7, 8, 9 и, кроме того:	
	1) замыкание между витками обмотки возбуждения	Проверить напряжение на отдельных катушках обмотки возбуждения. Проверить сопротивление обмоток возбуждения
	2) увеличенный воздушный зазор (для машин, вышедших из ремонта)	Проверить величину зазора
	3) сильно уменьшена (запилена) толщина ножки зубца якоря	Проверить толщину зубцов якоря
	4) осевой сдвиг якоря относительно полюсов	Проверить положение якоря относительно полюсов
III. Напряжение генератора сильно падает при нагрузке	1. Неправильное положение (сдвиг) щеток на коллекторе	Проверить отметки на траверсе щеткодержателей и щите машины. Попробовать сдвинуть щетки против вращения
	2. Обратное включение последовательной обмотки	Переключить концы последовательной обмотки (без добавочных полюсов)
	3. Плохие контакты в щеточной арматуре, соединениях и т. д. или распайка соединений в якоре	Проверить температуру соединений на ощупь и сопротивление якорной цепи
	4. Перегрузка	Проверить ток, потребляемый от генератора
	5. Скольжение ремня или снижение числа оборотов в минуту первичного двигателя	Проверить число оборотов в минуту генератора и первичного двигателя
IV. Двигатель не берет с места: а) Без нагрузки, см. пп. 1, 2, 7, 11	1. Обрыв цепи якоря	Проверить сопротивление цепей и напряжение на якоре и обмотке возбуждения двигателя
	2. Обрыв цепи возбуждения	
	3. Неправильное включение пускового реостата	Проверить схему и реостат. Проверить, напряжение на якоре и обмотке возбуждения двигателя при пуске

Неисправность	Возможная причина	Выявление причины и устранение неисправности
б) Под нагрузкой, см. пп. 3—13	4. Низкое напряжение сети (для двигателей последовательного возбуждения эта причина не имеет места)	Проверить величину напряжения сети и пускового тока
	5. Велик противодействующий момент нагрузки	Проверить легкость хода приводимого механизма
	6. См. I, п. 7	Проверить ток возбуждения
	7. См. I, п. 8	См. I, п. 8
	8. См. I, п. 9	См. I, п. 9
	9. См. II, п. 1	См. II, п. 1
	10. См. II, п. 2	См. II, п. 2
	11. См. III, п. 1	Проверить отметки на траверсе щеткодержателей и щите машины. Попробовать сдвинуть щетки по вращению
	12. См. III, п. 2	См. III, п. 2, 3
	13. См. III, п. 3	Проверить пусковой ток
V. Двигатель развивает число оборотов в минуту ниже нормального:	1. Велик ток возбуждения	Проверить ток возбуждения и сопротивление реостата возбуждения (регулятора числа оборотов)
а) Без нагрузки, см. пп. 1—3	2. Низкое напряжение сети	Проверить напряжение сети
	3. См. I, п. 9	Проверить ток, потребляемый двигателем при работе без нагрузки
	4. См. III, п. 1	Проверить отметки на траверсе щеткодержателей и щите. Попробовать сдвинуть щетки против вращения
б) Под нагрузкой, см. пп. 2, 4, 6, 7	5. См. III, п. 3	Проверить величину напряжения на якоре (щетках) и, кроме того, см. III, п. 3

Продолжение табл. В-1

Неисправность	Возможная причина	Выявление причины и устранение неисправности
	6. Неисправность пускового реостата	Проверить величину напряжения на якоре
	7. Перегрузка	Проверить нагрузку. Если проверки по пп. 1,7 подтвердят исправность двигателя, то нагрузку можно проверить по току, потребляемому двигателем
VI. Двигатель развивает число оборотов в минуту выше нормального:	1. Ток возбуждения мал	Проверить ток возбуждения и сопротивление цепи (реостата и т. д.)
а) Без нагрузки, см. пп. 1—4	2. Повышенное напряжение сети	Проверить величину напряжения сети
	3. См. I, пп. 8,9	См. I, пп. 8, 9
	4. См. II, п. 1	См. II, п. 1
	5. См. III, п. 1	Проверить отметки на траверсе щеткодержателя и щите машины. Попробовать сдвинуть щетки по вращению
б) Под нагрузкой, см. пп. 5—8	6. См. III, п. 2	См. III, п. 2
	7. Увеличенный воздушный зазор	Проверить величину зазора
	8. Недогрузка (для двигателей последовательного возбуждения)	Проверить нагрузку
VII. Двигатель не реверсируется	1. Сильный сдвиг щеток с нейтрали	Проверить установку щеткодержателей
VIII. Двигатель при включенном пусковом реостате движется толчками	1. Замыкание между витками якоря	См. I, п. 9
IX. Чрезмерный нагрев:	1. Ухудшение вентиляции	Прочистить вентиляционные каналы Проверить вентилятор, направление вращения и число оборотов в минуту

Продолжение табл. В-1

Неисправность	Возможная причина	Выявление причины и устранение неисправности
	2. Повышенный ток в якоре как результат:	
а) якоря	а) перегрузки	Проверить ток якоря и напряжение на зажимах
	б) пониженной величины напряжения сети (для двигателя)	То же
	в) пониженной величины тока возбуждения (двигателя)	Проверить ток возбуждения и ток якоря
	3. Повышенное напряжение	Проверить напряжение на зажимах
	4. Межвитковое замыкание в обмотке возбуждения	См. I, п. 9, кроме того, проверить ток, потребляемый машиной при холостом ходе в режиме двигателя
	5. Межвитковое замыкание в обмотке возбуждения	Проверить напряжение на отдельных катушках возбуждения. Проверить сопротивление катушек
	6. Большой эксцентрицитет воздушного зазора (пп. 5 и 6 для многополюсных машин с петлевой обмоткой)	Проверить величину зазора
	7. Замыкание в стали якоря	Проверить ток, потребляемый машиной при холостом ходе в режиме двигателя
б) коллектора	8. Трение якоря о полюсы	Проверить зазор и легкость хода
	9. Искрение щеток	См. ниже
	10. Чрезмерный нажим щеток	Проверить нажим. Попробовать ослабить нажим
	11. Слишком твердые щетки	Проверить марку щеток. Попробовать поставить более мягкие щетки (см. табл. 6-1)

Продолжение табл. В-1

Неисправность	Возможная причина	Выявление причины и устранение неисправности
в) катушек возбуждения (параллельных)	12. Повышенный ток возбуждения в результате:	Проверить ток возбуждения
	а) повышенного напряжения на зажимах	Проверить напряжение на зажимах
	б) пониженного числа оборотов в минуту	Проверить число оборотов в минуту
	в) неправильного (встречного) включения последовательной обмотки	Попробовать переключить концы последовательной обмотки
	г) неправильного положения (сдвига) щеток на коллекторе	Проверить отметки на щите машины и траверсе. Попробовать сдвинуть траверсу по вращению — для двигателя, против вращения — для генератора
г) катушек последовательных и добавочных полюсов	13. Повышенный ток	Проверить ток якорной цепи
	14. Распайка соединений	Проверить нагрев соединений на ощупь и сопротивление цепи
	15. Нет смазки. Загрязненная смазка	Промыть. Заменить смазку
	16. Неподходящий сорт смазки	Промыть. Заменить смазку
	17. Не вращается кольцо	Проверить форму кольца и свободу его вращения
	18. Зажим вала уплотнением	Проверить легкость вращения якоря (перегрев быстро падает с разработкой уплотнения)

Неисправность	Возможная причина	Выявление причины и устранение неисправности
	19. Неправильная сборка (подшипник зажат, перекошен и т. п.)	Проверить легкость вращения якоря
	20. Сильное натяжение ремня	Ослабить ремень
	21. Сильное одностороннее магнитное притяжение	Проверить эксцентрицитет воздушного зазора и исправность катушек возбуждения
	22. Повреждены шейки вала	То же, что в п. 21, кроме того, проверить изоляцию подшипниковой стойки от рамы (если имеется)
	23. Износ подшипника	Проверить зазор в подшипнике
X. Искрение под щетками из-за перегрузки или неисправности следующих деталей:	1. Чрезмерный ток якоря или число оборотов в минуту	*Коллектор имеет равномерное по окружности почернение (подгар пластин)* Проверить ток якоря и число оборотов в минуту
а) коллектора	2. Механические неисправности поверхности (выступающие пластины, выступающая слюда, биение и т. д.)	*Коллектор имеет подгар отдельных пластин* Проверить цилиндричность поверхности индикатором. Прошлифовать шкуркой, если надо, продорожить
	3. Загрязнение поверхности	Промыть спиртом. Прошлифовать шкуркой

Продолжение табл. В-1

Неисправность	Возможная причина	Выявление причины и устранение неисправности
	4. Плохая пайка концов обмотки в петушки (пластины)	Подгорание отдельных пластин, на которых имеет место плохая пайка Проверить пайку. Подпаять дефектные пайки
б) щеток и щеткодержателей	5. Щетка заедает в обойме	Проверить ход щеток
	6. Щетка болтается в обойме	Проверить ход щеток
	7. Обойма далеко от коллектора	Проверить расстояние, см. гл. 6
	8. Щетки не притерты	Притереть щетки
	9. Слабый нажим на щетку	Усилить нажим
	10. Неодинаковый нажим на щетки	Отрегулировать нажим
	11. Разрушена арматура части щеток	Заменить щетки
	12. Неподходящий сорт щеток	Заменить щетки
	13. Нарушены контакты в цепи тока щетки	Зачистить и подтянуть контакты
	14. Расстояния между щеткодержателями неодинаковы	Выровнять
	15. Щеткодержатели установлены неправильно (не по нейтрали — для машин с добавочными полюсами, не по нагрузке — для машин без добавочных полюсов)	Установить по нейтрали Установить по нагрузке
в) обмотки якоря	16. Обрыв обмотки	Проверить обмотку милливольтметром, см. гл. 4 *Сильное подгорание одной-двух соседних пластин*

Продолжение табл. В-1

Неисправность	Возможная причина	Выявление причины и устранение неисправности
	17. Распайка уравнительных соединений (для машин с петлевой обмоткой и числом пар полюсов больше двух)	Проверить обмотку миллнвольтметром Подгорание пластин в определенных местах
г) добавочных полюсов	18. Неправильная (обратная) полярность всех добавочных полюсов	Переключить концы обмотки добавочных полюсов
	19. Неправильная полярность части добавочных полюсов	Проверить полярность, см. раздел «Коммутация»
	20. Замыкание витков обмотки добавочных полюсов	Проверить сопротивление катушек полюсов
	21. Неправильный зазор между добавочным полюсом и якорем	Проверить зазор
	22. Ослабло крепление добавочного полюса к остову	Подтянуть болты
XI. Сотрясение (вибрация) машины	1. Небаланс якоря — сотрясение исчезает лишь при значительном уменьшении числа оборотов	Проверить балансировку
	2. Замыкание между витками якоря	См. I, п. 9
	3. Замыкание между витками в катушках возбуждения (по пп. 2, 3 сотрясение исчезает после отключения обмоток от сети)	См. I, п. 8, II, п. 1

Примечание к табл. В-1. При пользовании таблицей следует иметь в виду следующее:

По п. 1. Для того чтобы генератор мог возбудиться, необходимо:

а) наличие остаточного магнетизма;

б) такое направление вращения генератора и включение обмотки возбуждения, чтобы поток, создаваемый обмоткой возбуждения, усиливал поток остаточного магнетизма. Если генератор потерял остаточный магнетизм, что можно установить по отсутствию напряжения на зажимах при разомкнутой обмотке возбуждения, то его следует намагнитить (соблюдая правильную полярность на щетках якоря) от постороннего источника.

Выполнение условия п. «б» легко установить, наблюдая напряжение на якоре при включенной и выключенной обмотке возбуждения. Включение обмотки должно увеличивать напряжение на якоре. Однако даже при выполнении условий пп. «а» и «б» генератор может не возбуждаться, если число оборотов его ниже номинального, сопротивление цепи обмотки возбуждения завышено, а также если в обмотке якоря или возбуждения имеются неисправности в виде замыканий между витками или порчи изоляции обмотки по отношению к корпусу или соседней обмотке.

Замыкание между витками обмотки якоря, кроме указанного в табл. В-1, пп. I, 9 способа обнаружения этого дефекта, может быть наиболее точно установлено, если имеется подходящий источник постоянного тока, по потребляемому машиной току холостого хода в режиме двигателя (см. гл. 8).

По п. II. Низкое напряжение генератора (при холостом ходе) за счет замыканий между витками обмотки возбуждения при исправной изоляции этой обмотки может иметь место только в том случае, если в цепь этой обмотки введено постоянное добавочное сопротивление. Уменьшением величины этого сопротивления напряжение генератора может быть поднято, однако ток возбуждения будет при этом выше номинального, что может повлечь за собой повышенный перегрев катушек возбуждения.

Неисправность изоляции обмотки возбуждения (двукратный пробой изоляции на корпус или пробой изоляции на последовательную обмотку) может служить причиной снижения напряжения на зажимах.

Необходимость повышения тока возбуждения сверх расчетного или измеренного ранее для получения номинального напряжения может также явиться результатом увеличения воздушного зазора. Последнее обстоятельство встречается в ремонтной практике относительно редко.

Оно может явиться результатом обточки (шлифовки) якорной стали, имеющей поверхностные повреждения (например, вследствие цепляния якоря о полюс и т. п.). Такая шлифовка возможна лишь для якорей, имеющих крепление обмотки бандажами, а не клиньями. Другой причиной низкого напряжения генератора, вышедшего из капитального ремонта, связанного с переброской и опиловкой стенок пазов стали якоря, может явиться уменьшение сечения (толщины) ножки зубца якоря. В связи с относительно высокими магнитными нагрузками ножки зубца даже незначительное уменьшение ее толщины сильно сказывается на напряжении генератора.

По п. III. Влияние сдвига щеток на напряжение генератора при нагрузке обусловлено тем фактом, что при сдвиге щеток с нейтрали появляются ампер-витки обмотки якоря, действующие в зависимости от направ-

ления сдвига (по или против вращения) против или согласно с обмоткой возбуждения и соответственно уменьшающие или увеличивающие магнитный поток и, следовательно, напряжение на зажимах генератора.

Аналогично действует последовательная обмотка, которая в зависимости от включения ее концов в цепь рабочего тока действует либо совместно с обмоткой возбуждения, либо против нее.

Однако в связи с наличием магнитного потока якоря, искажающего основное магнитное поле, в машинах без добавочных полюсов щетки приходится сдвигать с геометрической нейтрали для улучшения коммутации (устранения искрения).

В генераторе для этой цели щетки сдвигаются по вращению якоря, в двигателе — против вращения.

В машинах с добавочными полюсами щетки устанавливаются по геометрической нейтрали.

По п. IV. Недостаточный пусковой момент двигателя (двигатель не берет с места под нагрузкой) часто объясняется неправильным включением пускового реостата.

Неправильность заключается в том, что при пуске понижается напряжение не только на якоре двигателя, но и одновременно на обмотке возбуждения, т. е. обмотка возбуждения включается параллельно якорю после пускового реостата. В этом случае при пуске в двигателе имеются очень слабый ток возбуждения и магнитный поток и в результате весьма слабый пусковой момент. Правильным включением пускового реостата является такое, при котором напряжение на обмотке возбуждения при пуске равно напряжению сети.

По п. IX. Повышенный перегрев машины или ее частей может быть связан с ухудшением вентиляции вследствие засорения вентиляционных каналов, неправильного направления вращения (для вентиляторов с наклонными лопастями), низкого числа оборотов.

Все эти причины вызывают уменьшение количества вентилирующего воздуха, проходящего через машину.

Убедиться в этом проще всего, измеряя термометром перегрев, т. е. разницу между температурой воздуха, входящего в машину, и температурой воздуха, выходящего из нее (см. гл. 8), и сравнивая его с данными испытания аналогичных машин.

Для закрытых невентилируемых машин повышенный перегрев лучше всего можно установить, измеряя перегрев корпуса при помощи термометра. Другой причиной повышенного перегрева могут быть повышенные потери в меди обмоток или активной стали якоря. Медные потери в обмотке пропорциональны квадрату тока. Поэтому при выяснении причин перегрева какой-либо обмотки в первую очередь должна быть проверена величина тока в ней. Пониженное напряжение на зажимах двигателя обычно связано с повышением тока в якоре, так как вследствие пониженного напряжения уменьшаются ток возбуждения и магнитный поток двигателя и для сохранения требующегося крутящего момента якорь потребляет повышенный ток.

К таким же последствиям приводит уменьшение тока возбуждения двигателя, которое может потребоваться для увеличения скорости вращения при сохранении постоянного крутящего момента (как, например, у металлорежущих станков, подъемников, экскаваторного привода и т. д.).

Межвитковые замыкания в якоре машины постоянного тока приводят к тому, что через короткозамкнутую часть обмотки протекает большой ток, вы-

зывающий сильный нагрев короткозамкнутой части обмотки.

Большой эксцентрицитет якоря машины приводит к появлению значительных внутренних токов в якоре, замыкающихся через уравнительные соединения петлевой обмотки (см. гл. 3) и вызывающих нагрев этих соединений.

Повышенное напряжение на зажимах машины при нормальном числе оборотов в минуту приводит к увеличению потерь в стали якоря, что также может привести к повышенному перегреву якорной обмотки.

К увеличению потерь в стали приводит замыкание между листами якорной стали, получающееся, в частности, вследствие порчи якорной поверхности (зашлифовки) при задевании якоря о полюсы, при наличии заусенцев на поверхности и порчи изоляции между листами.

По п. X. При определении причин искрения следует внимательно осмотреть поверхность коллектора и щеток.

Почернение отдельных пластин коллектора указывает на местный дефект коллекторной поверхности или обмотки, например выступающие пластины или миканит, плохая припайка концов обмотки к коллекторным пластинам, дефекты обмотки.

Почернение пластин, лежащих на определенных расстояниях друг от друга по всей окружности коллектора, а также равномерное матовое почернение всех пластин указывают на неправильную установку (сдвиг) щеток на коллекторе, слабые добавочные полюсы. Последнее обстоятельство может быть в свою очередь результатом повышенных воздушных зазоров между добавочными полюсами и якорем или между добавочным полюсом и остовом (у некоторых типов машин постоянного тока имеется немагнитная прокладка между полюсом и остовом), замыкания между витками обмотки добавочных полюсов, неправильным (обратным) включением обмоток части добавочных полюсов (например, одного или двух из четырех).

Сильное искрение всех щеток может быть результатом неправильного включения всей цепи добавочных полюсов, при котором все добавочные полюсы получают обратную полярность (см. § 6-1).

Нитевидное искрение в виде светящихся нитей, окружающих коллектор, вызывается плохой продорожкой, слишком мягкими (мажущими) щетками, само по себе неопасно.

Быстрый износ (выработка) коллектора и щеток может быть следствием сильного искрения, чрезмерного нажима на щетки, низкого качества щеток, содержания в атмосфере абразивной пыли или химических веществ, разрушающих политуру, работы машины без тока, недостаточной твердости пластин (многократно обточенный коллектор).

Таблица В-2

Неисправности трехфазных асинхронных двигателей

Неисправность	Возможная причина	Способ выявления причин
I. Двигатель не пускается без нагрузки. Нет пускового момента	1. Обрыв (в одном из трех проводов) питающей линии	Проверить напряжение между проводами линии (линейные напряжения) Проверить предохранители Проверить ток в питающих проводах
	2. Обрыв в одной из трех обмоток фаз статора двигателя (при включении звездой)	Проверить сопротивление обмоток фаз
	1. Износ подшипников и притяжение ротора к статору	Проверить зазор между статором и ротором.
II. Двигатель не берет с места под нагрузкой. Двигатель останавливается при увеличении нагрузки. Пусковой или максимальный момент недостаточен	1. Пониженное напряжение сети	Проверить линейные напряжения
	2. Включение фаз обмотки звездой вместо треугольника	Проверить схему соединения обмоток
	3. Обрыв в одной из трех обмоток фаз статора двигателя (при включении фаз треугольником)	Проверить сопротивление обмоток фаз
	4. Межвитковое замыкание в обмотке статора	Проверить сопротивление обмоток фаз Проверить токи холостого хода по фазам Проверить обмотку магнитным башмаком, см. главу «Ремонт статорных обмоток»
	5. Обрыв или распайка в обмотке ротора	Проверить ток короткого замыкания Проверить трансформацию (фазный ротор), см. главу «Испытание»
	6. Не годится пусковой реостат	Проверить сопротивление и исправность реостата
	7. Перегрузка	Проверить нагрузку

Продолжение табл. В-2

Неисправность	Возможная причина	Способ выявления причин
III. Двигатель дает пониженное число оборотов в минуту	1. Пониженное напряжение сети	Проверить напряжение
	2. Повышенное сопротивление обмотки ротора в результате:	
	а) распайки, плохой заливки, трещин в стержнях и кольцах короткозамкнутого ротора	Проверить ток короткого замыкания
	б) неисправности колец, щеток замыкающего механизма (для фазного ротора)	Осмотреть кольца, щетки, короткозамыкающий механизм Проверить токи короткого замыкания
IV. Двигатель не развертывается (застревает на малых скоростях вращения)	1. Обрыв в обмотке ротора или в цепи кольца — щеткодержатели — пусковой реостат, неисправность короткозамыкающего механизма (фазного ротора). Неисправность пускового реостата (неодинаковые сопротивления по фазам)	Проверить трансформацию Проверить ток короткого замыкания Проверить сопротивление фаз обмотки ротора и пускового реостата
	2. Обрывы в нескольких стержнях или в замыкающих кольцах короткозамкнутого ротора	Проверить ток короткого замыкания
	3. Перевернута фаза обмотки статора. Двигатель гудит	Проверить ток в питающих проводах Проверить маркировку концов обмотки, см. гл. 8
	4. Неправильное соотношение чисел пазов (в случае перемотки двигателя на другие числа оборотов)	См. ниже замечания к табл. В-2

Неисправность	Возможная причина	Способ выявления причин
V. Двигатель приходит во вращение при разомкнутом фазном роторе	1. Межвитковое замыкание в роторе	Проверить магнитным ярмом Проверить трансформацию
	2. Перекрытие между стержнями ротора при пуске	Осмотреть лобовые части и головки стержней
VI. Повышенный перегрев статора	1. Повышенный ток в обмотках статора в результате:	
	а) обрыва в одном из трех проводов питающей линии б) обрыва в цепи одной фазы обмотки статора (пп. «а», «б» — однофазный режим)	Проверить предохранители. Проверить напряжение между проводами линии и ток в них
	в) повышенного напряжения сети	Проверить напряжение между проводами питающей линии и ток в них
	г) пониженного напряжения сети	То же
	д) неодинакового (несимметричного) напряжения между проводами питающей линии	Проверить три напряжения между проводами питающей линии
	е) перегрузки	Проверить напряжение между проводами питающей линии и ток в них
	ж) межвиткового замыкания в обмотке фазы статора, замыкания между обмотками фаз	Проверить ток в питающих проводах Проверить изоляцию между фазами обмотки статора и на корпус Проверить сопротивление обмоток

Продолжение табл. В-2

Неисправность	Возможная причина	Способ выявления причин
	з) неправильного соединения катушек внутри обмотки фаз	Проверить ток, потребляемый фазами Проверить нагрев отдельных катушек на ощупь Проверить пп. «д», «ж», «з», токи в питающих проводах неодинаковы
	и) увеличенного воздушного зазора	Проверить ток холостого хода и величину воздушного зазора
VII. Перегрев ротора	2. Ухудшение вентиляции	Прочистить вентиляционные каналы
	1. Повышенный ток в роторе в результате:	
	а) пониженного напряжения питающей сети	Проверить линейные напряжения и ток ротора (для фазного ротора)
	б) перегрузки	Проверить нагрузку
	2. Распайка соединений	Проверить места пайки Проверить сопротивление ротора (для фазного ротора)
	3. Ухудшение вентиляции	Осмотреть вентиляционную систему
VIII. Перегрев колец, щеток, замыкающего механизма фазного ротора	См. VII, пп. 1—3, и, кроме того:	
	1) слабый нажим щеток на кольца	Проверить нажим. Усилить нажим
	2) несоответствующий сорт щеток	Проверить марку щеток (см. табл. 6-1)
	3) порча поверхности колец	Осмотр колец. Шлифовка колец
	4) ухудшение состояния контактов замыкающего механизма	Проверка плотности контактов Проверка переходных сопротивлений обмотка — кольца
	5) мало сечение щеток (для случая перемотки двигателя на другое напряжение ротора)	Проверить ток в роторе и плотность тока под щетками (см. табл. 6-1)

Продолжение табл. В-2

Неисправность	Возможная причина	Способ выявления причин
IX. Перегрев подшипников	См. табл. В-1, IX, п. «д»	
X. Величина тока, потребляемого двигателем, периодически колеблется	1. Обрыв в роторе	Проверить ток короткого замыкания
	2. Неисправность (плохие контакты) короткозамыкающего механизма	Проверить трансформацию и ток короткого замыкания
XI. При включении срабатывает защита (большой ток)	1. Перевернута фаза обмотки статора	Проверить маркировку концов и схему соединения
	2. Соединение фаз обмотки статора в треугольник вместо звезды	Проверить схему соединения обмоток
	3. Замыкание обмоток на корпус или между фазами	Проверить изоляцию обмоток фаз относительно корпуса и друг друга
	4. Неисправность пускового реостата	Проверить величину сопротивления пускового реостата
	5. Не размыкается короткозамыкающий механизм	Проверить механизм
XII. Механические колебания (сотрясение) двигателя	1. Небаланс ротора (сотрясение исчезает лишь при значительном уменьшении числа оборотов)	Проверить балансировку
	2. Обрыв в роторе (сотрясение исчезает непосредственно после выключения питающего напряжения)	См. II, п. 5
	3. Большая осевая игра ротора 4. Износ скользящих подшипников	Проверить зазор в подшипниках и установку их
	5. Плохо сшит ремень передачи	Перешить ремень

П р и м е ч а н и е к т а б л. В-2. По п. I. При обрыве одного из трех питающих асинхронный двигатель проводов, например за счет сгорания одного предохранителя, пусковой момент двигателя исчезает. Двигатель, обмотки которого включены в треугольник, при условии очень легкого вращения может иногда пойти вхолостую.

В этом случае получается однофазное включение (питание) двигателя, характерным признаком которого является сильное гудение его. Раскручиванием от руки такой двигатель может быть приведен во вращение в любую сторону, однако работать в таком режиме он не может. Если обрыв одного из трех проводов питающей линии, например сгорание предохранителя, произошел на ходу, то двигатель может продолжать вращаться, однако обмотка, присоединенная к исправным проводам линии, будет сильно (почти в 2 раза) перегружена по току и, если двигатель не будет своевременно остановлен, сгорит.

Обрыв питающего провода и несоответствующая защита являются весьма частой причиной повреждения статорной обмотки трехфазных асинхронных двигателей.

Следует иметь в виду, что, несмотря на обрыв в одном из питающих проводов при вращении двигателя, напряжение будет иметься на всех зажимах его обмоток (на зажиме, к которому подходит обесточенный конец, напряжение будет несколько ниже). Поэтому для обнаружения дефекта следует либо остановить двигатель и попробовать пустить его снова, либо проверить ток в подводящих проводах.

Обрыв в одной из трех обмоток (фаз) двигателя при включении обмоток звездой во всем подобен обрыву одного из питающих проводов.

По п. II. Пусковой и максимальный моменты асинхронного двигателя пропорциональны квадрату напряжения на обмотках фаз. Включение обмотки звездой вместо треугольника приводит к понижению напряжения на каждой из обмоток в $\sqrt{3}=1,73$ раза и, следовательно, к уменьшению пускового и максимального моментов в 3 раза.

Обрыв в одной из трех обмоток фаз двигателя, включенных в треугольник при исправной питающей линии, приводит к несимметричному включению в «открытый треугольник», при котором перегрузочная способность двигателя и пусковой момент уменьшаются.

Характерным признаком этого несимметричного включения является повышенный ток в одном из трех подводящих проводов. К таким же результатам, как уменьшение перегрузочной способности, неодинаковый и повышенный ток по фазам, приводит замыкание между витками обмотки статора.

У двигателей с фазным ротором для получения достаточно высокого пускового момента необходимо в цепь ротора включить пусковой реостат с достаточно большим сопротивлением.

Низкое сопротивление реостата или пуск с замкнутыми накоротко кольцами вызывает понижение пускового момента и повышение пускового тока.

По п. IV. При значительном количестве поврежденных (треснувших, плохо залитых) стержней короткозамкнутого ротора и при обрыве в одной из обмоток фазного ротора двигатель дает скорость около половины нормальной.

При перемотке асинхронных двигателей, связанной с изменением числа пар полюсов, иногда приходится сталкиваться с явлением «застревания» двигателя на пониженном числе оборотов. Это явление свя-

зано с неправильным соотношением чисел пазов ротора и статора для нового числа пар полюсов и чаще наблюдается у короткозамкнутых двигателей.

Для борьбы с застреванием можно прибегнуть к обточке (уменьшению сечения) торцовых колец ротора и к разрезанию их (места разрезов на двух торцах должны быть сдвинуты друг относительно друга).

По п. VI. Повышенный ток в статоре может иметь место как при пониженном, так и при повышенном напряжении сети.

В первом случае увеличивается рабочий (активный) ток в статоре и роторе, так как для поддержания крутящего момента при уменьшенном магнитном потоке (его величина пропорциональна напряжению) необходим повышенный ток.

Во втором случае увеличиваются намагничивающий ток и соответственно необходимая намагничивающая сила (ампер-витки), обеспечивающая создание в двигателе магнитного потока.

Несимметричное напряжение на зажимах двигателя создает большую разницу в токах по фазам обмотки двигателя и перегрев фазы обмотки двигателя, несущей большой ток.

Неправильное соединение катушек одной фазы при последовательном их включении может заключаться в том, что часть катушек включена навстречу остальным. В этом случае намагничивающий ток и ток холостого хода в этой фазе будут больше, чем в других.

Повышенный ток холостого хода может также явиться следствием чрезмерной опиловки стенок пазов при ремонте статорного или роторного пакета, повлекшей за собой уменьшение толщины зубца, в особенности в его наиболее тонкой части.

К такому же результату приводит распиловка шлица (прорези) между головками зубцов.

В этом случае увеличивается также пусковой ток асинхронного двигателя.

При параллельном соединении катушек обмотки неправильность может заключаться в том, что параллельно соединены катушки с неодинаковым напряжением. В этом случае в обмотке будут циркулировать внутренние токи, которые могут достигать весьма большой величины и перегревать катушки обмотки.

Таблица В-3

Неисправности синхронных машин

Неисправность	Возможная причина	Способ выявления причин
I. Генератор дает низкое напряжение при холостом ходе	1. Неисправность возбудителя	См. табл. В-1
	2. Обрыв в цепи возбуждения	Проверить сопротивление изоляции
	3. Пробой изоляции цепи возбуждения	Проверить сопротивление изоляции
	4. Пробой изоляции статора	Проверить число оборотов
	5. Низкое число оборотов	
	6. Неправильное соединение параллельных цепей обмотки	
II. Напряжения фаз при холостом ходе неодинаковы	1. Межвитковые замыкания в обмотках фаз	Проверить обмотку на межвитковые замыкания
	2. Ошибки при намотке и соединении катушек фазы	Проверить схему соединения катушек
III. Напряжения фаз при нагрузке неодинаковы	1. Распайка соединений фаз	Проверить сопротивление фаз
	2. Большая разница в нагрузках фаз	Проверить нагрузки
IV. Генератор дает низкое напряжение при нагрузке	1. Сильно индуктивная нагрузка	Проверить коэффициент мощности ($\cos \varphi$) нагрузки
	2. Падение числа оборотов	Проверить число оборотов

Продолжение табл. В-3

Неисправность	Возможная причина	Способ выявления причин
V. Двигатель медленно разворачивается (асинхронный пуск)	1. Низкое напряжение сети	Проверить напряжение при пуске
	2. Обрывы в демпферной обмотке	Осмотреть демпферную обмотку
	3. Замыкания в обмотке возбуждения (индуктора)	Проверить обмотку возбуждения См. § 4-9
	4. Межвитковое замыкание в статоре	Проверить ток по фазам
VI. Двигатель не втягивается в синхронизм (асинхронный пуск)	1. Слишком велик тормозящий момент нагрузки	Проверить нагрузку
	2. Высокое сопротивление успокоительной обмотки (распайка, трещины и т. д.)	Осмотреть успокоительную (демпферную) обмотку
VII. Двигатель выпадает из синхронизма	1. Слабый ток возбуждения	Проверить ток возбуждения
	2. Замыкания в обмотке индуктора	Проверить обмотку индуктора
	3. Перегрузка	Проверить нагрузку
	4. Низкое напряжение сети	Проверить напряжение
VIII. Сотрясения машины	1. Небаланс вращающейся части	Проверить балансировку
	2. Замыкания в катушках индуктора	Проверить катушки индуктора. См. гл. 4
IX. Недопустимый перегрев демпферной клетки	1. Распайка соединений успокоительной (демпферной) клетки	Осмотреть успокоительную клетку
	2. Частые выпадения из синхронизма	Проверить нагрузку

ГЛАВА ПЕРВАЯ

РАЗБОРКА И СБОРКА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

1-1. РАЗБОРКА МАШИН СРЕДНЕЙ МОЩНОСТИ

Основной операцией при разборке является выемка ротора (якоря) из статора (станины). В зависимости от размеров и конструкции машин применяются различные приемы разборки. Для машин малой и средней мощности с подшипниковыми щитами и скользящими подшипниками разборка начинается со снятия щитов. В зазор между ротором и статором кладут прессшпановые листы. Перед снятием переднего[1] подшипникового щита, несущего щеткодержатели или замыкающее приспособление, должны быть подняты щетки и разъединены все провода между щитом и машиной. Щит подвязывается стропами к крюку крана или тали, и стропы натягиваются. Затем освобождают болты крепления щита к станине. Часть этих болтов ввертывают в специальные отверстия в ободе щита, имеющие резьбу, после чего равномерным поворотом болтов производят отжим щита, стаскивание его с центрирующей заточки статора и удаление с вала.

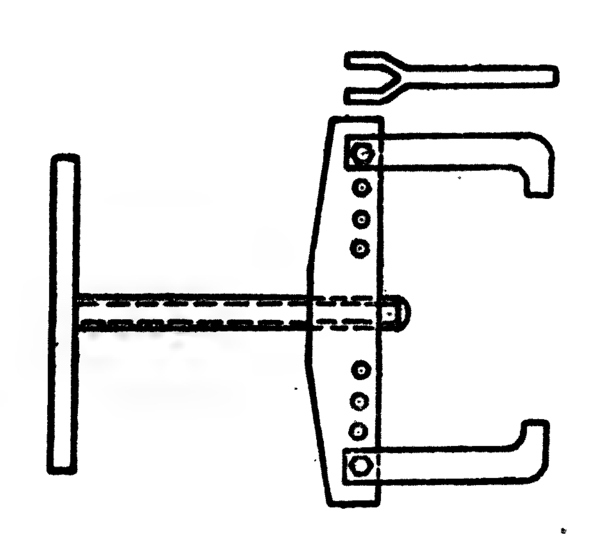
Для снятия заднего подшипникового щита необходимо снять шкив с вала. Эта операция производится стяжками (рис. 1-1), причем необходимо избегать перекосов. Задний щит удаляют так же, как и передний.

У машин с шариковыми и роликовыми подшипниками для снятия подшипникового щита может потребоваться освобождение подшипника. Наиболее распространенная конструкция подшипникового узла изображена на рис. 1-2. Для снятия щита нужно освободить шпильки, стягивающие фланцы. Шарикоподшипник и задний фланец остаются на

---

[1] Передний — со стороны коллектора, контактных колец; задний — со стороны привода (шкива).

валу, и для снятия подшипника должны быть применены стяжки. Неснятый шарикоподшипник на валу должен быть завернут в промасленную бумагу. В некоторых конструкциях (рис. 1-3) шарикоподшипник находится в специальном капсюле *2*, который входит в расточку щита и крепится к щиту при помощи кольца *1*. Кольцо одним рядом болтов удерживается на щите, а вторым рядом болтов держит капсюль. Для снятия щита при этой конструкции нужно отвернуть болты, крепящие капсюль к кольцу, после чего щит снимается описанными приемами. Стягивание щита должно производиться без перекосов. На валу остается подшипник в капсюле, который защищает его от грязи и механических повреждений. Для снятия капсюля с подшипником с вала в нем высверлены два диаметрально расположенных отверстия, в которые входят наконечники стяжного приспособления.


Рис. 1-1. Стяжки.

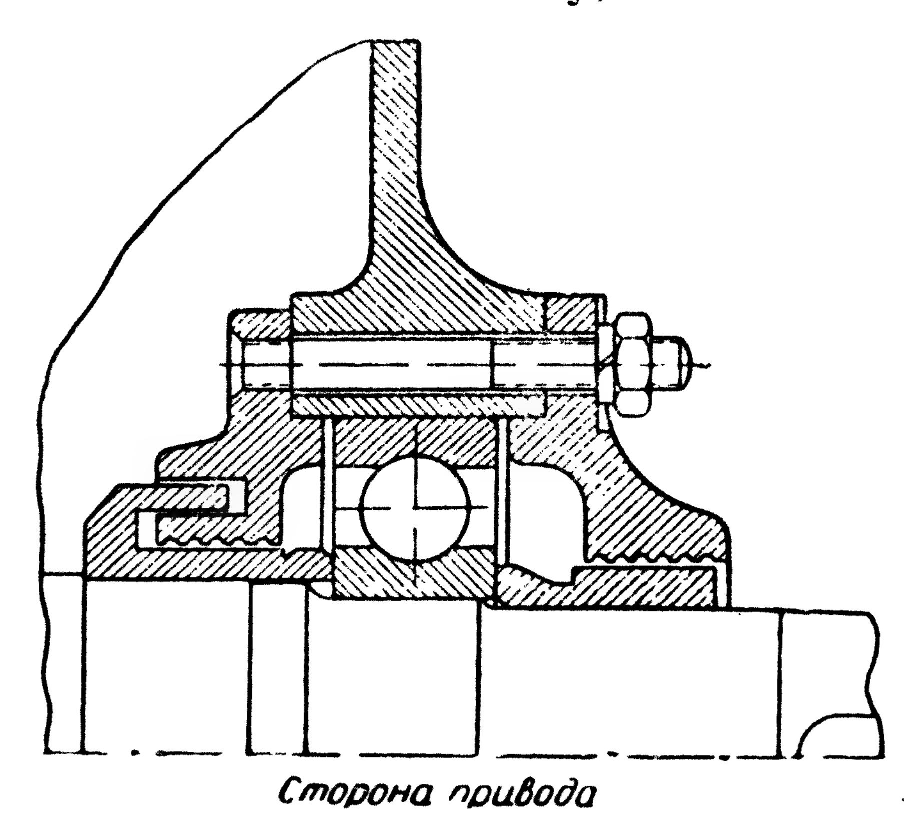


Рис. 1-2. Подшипниковый узел с шарикоподшипником.

Конструкции по рис. 1-4 отличаются наличием лабиринтового кольца *1*, имеющего такой же наружный диаметр, как шарикоподшипник. Поэтому для снятия щита у этой конструкции не требуется предварительного освобождения подшипника (крановые двигатели типа КТ-2 ÷ КТ-5 величины завода «Динамо» имени С. М. Кирова).

У машин на роликовых подшипниках встречаются две характерные конструкции подшипниковых узлов. Конструкция по рис. 1-5 имеет с обеих сторон одинаковый тип роликоподшипника с полузакрытыми внутренними кольцами (без упорного кольца). Снятие щитов при этой конструкции производится без какой-либо разборки подшипникового узла.

Конструкция по рис. 1-6 имеет закрытое внутреннее кольцо у переднего роликового подшипника со стороны коллектора. В этом случае должна быть предварительно снята втулка *1*, после чего можно снять передний щит. При разборке машины на роликовых подшипниках с тя-

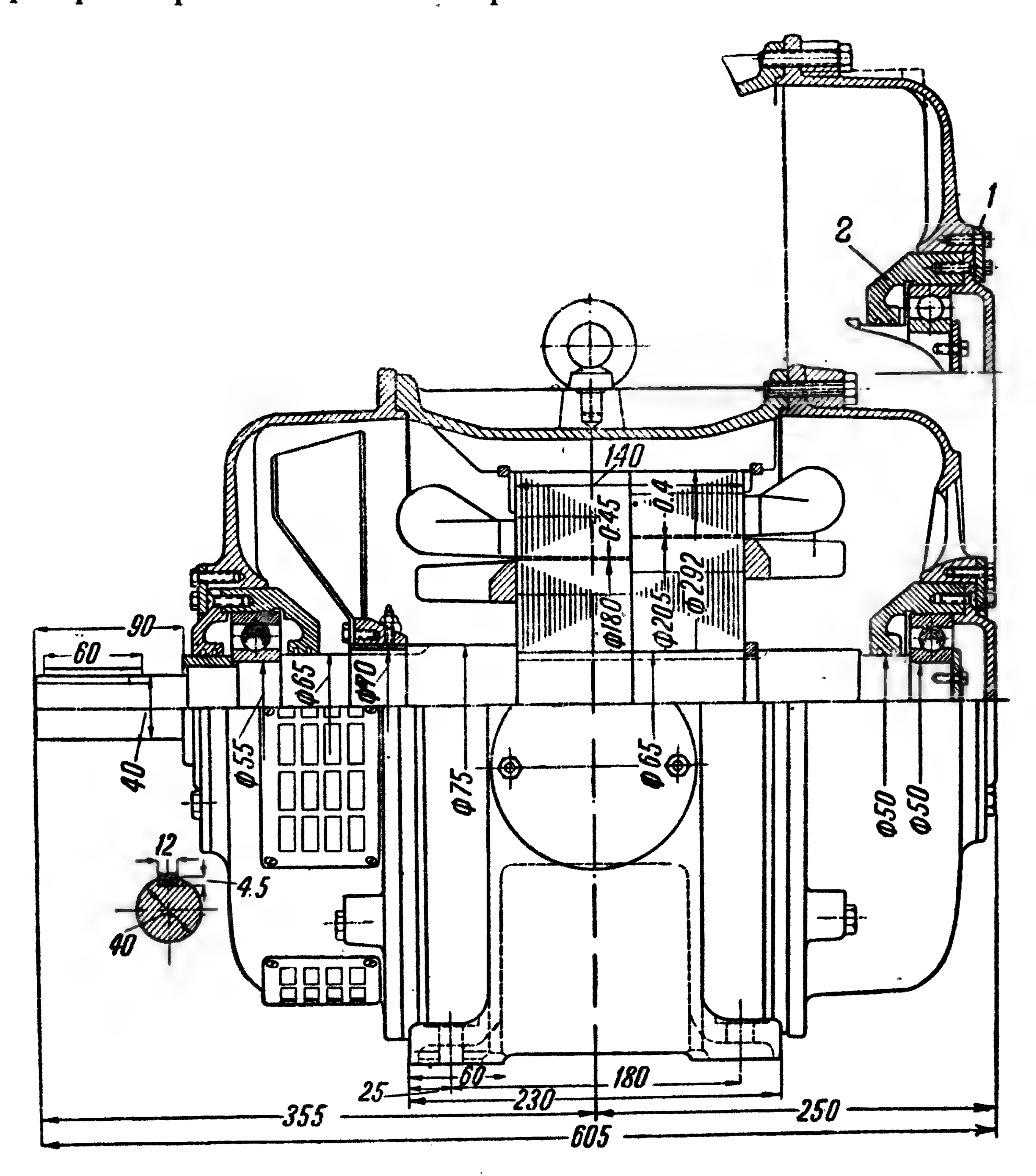


Рис. 1-3. Асинхронный двигатель на шарикоподшипниках.

желым длинным ротором под конец вала должна быть подведена опора для того, чтобы после освобождения заднего щита не получилось наклонного положения вала и чрезмерного давления на передний подшипник. Для этого наиболее удобна вертикальная разборка.

При разборке необходимо установить порядок, при котором все освобождающиеся крепежные части, мелкие де-

тали и т. п. складываются в специальные ящики. Все, что может быть ввернуто и поставлено на свое место, для предохранения от поломки и утери должно быть поставлено на место.

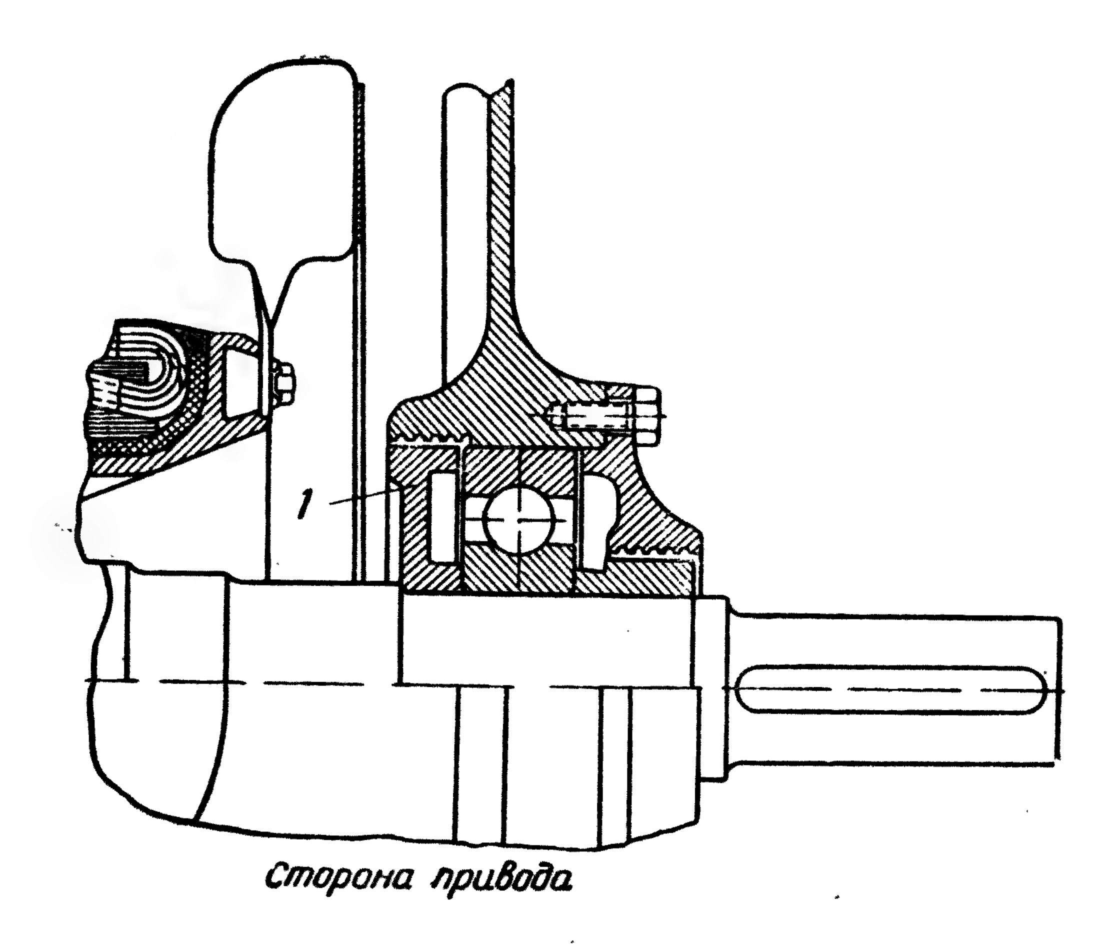


Рис. 1-4. Подшипниковый узел с шарикоподшипником.

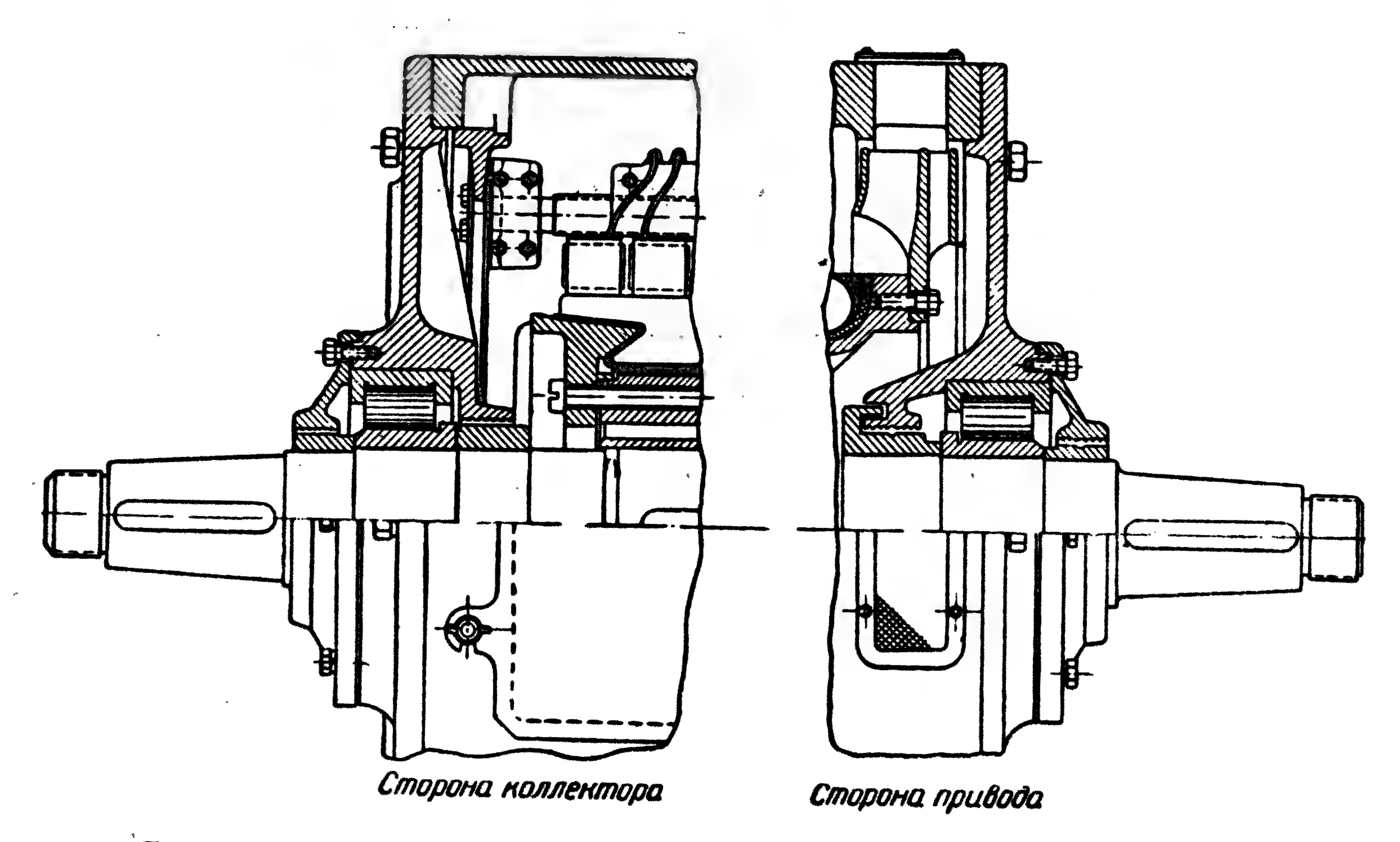


Рис. 1-5. Подшипниковые узлы на роликоподшипниках.

После снятия подшипниковых щитов ротор (якорь) может быть выведен из статора (станины). На вал ротора надевают стропы, как показано на рис. 1-7,*а*, стропы под-

тягивают краном так, чтобы ротор не терся о статор, и ротор продвигается краном до тех пор, пока задний строп не подойдет близко к лобовой части обмотки статора (рис. 1-7,*б*). После этого под ротор кладут лист электрокартона, ротор опускается на сердечник статора и подставку под вал, и если его центр тяжести вышел из статора, то стропы переносят (рис. 1-7,*в*). Ротор полностью выводится из статора. Если центр тяжести ротора остается все же

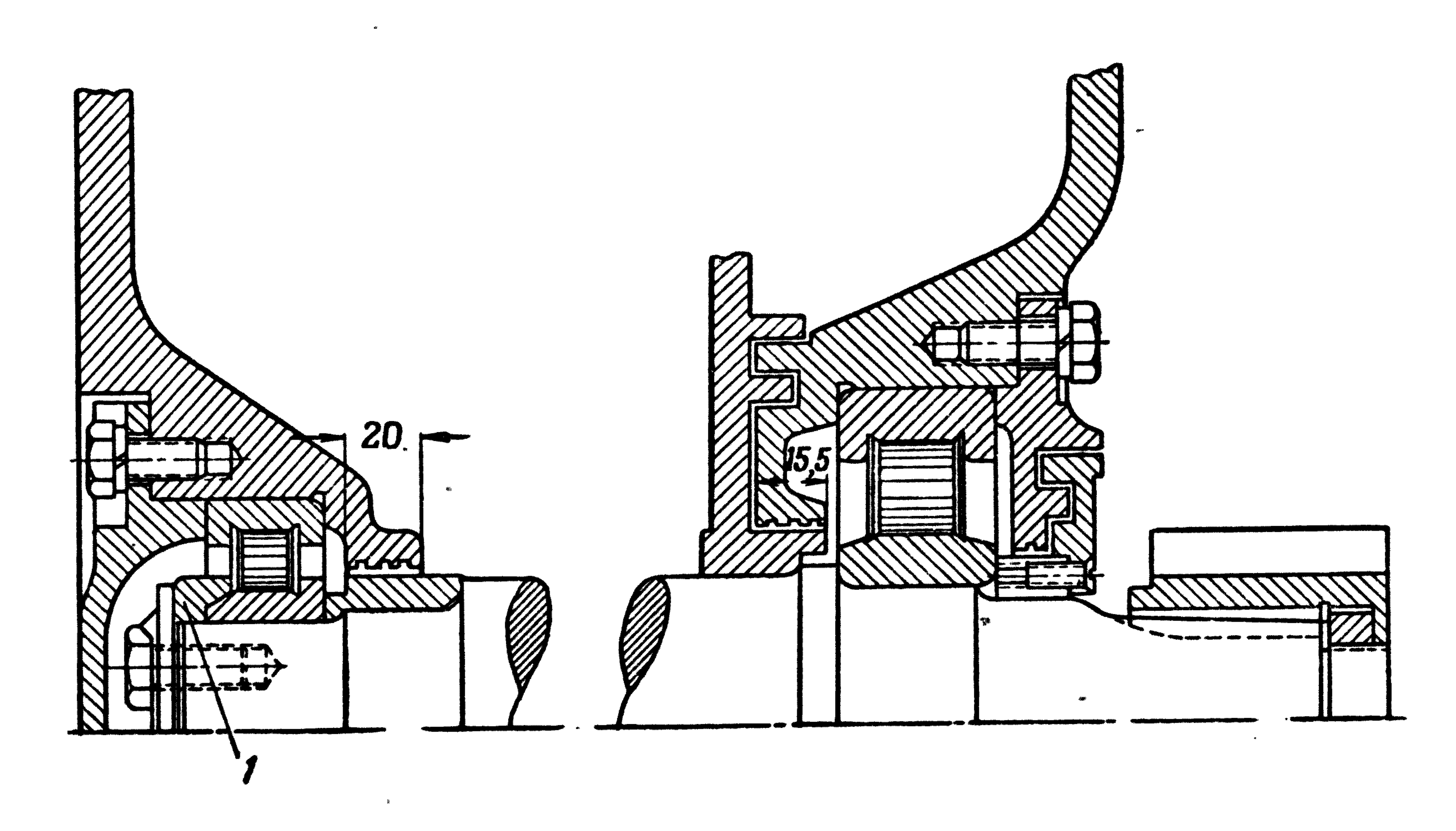


Рис. 1-6. Подшипниковые узлы на роликоподшипниках.

внутри машины, то для вывода вал удлиняется трубой (рис. 1-7,*б*), и производится дополнительный вывод ротора из статора.

Для роторов (якорей) небольшого веса при известном навыке можно пользоваться способом, показанным на рис. 1-7,*г*. В этом случае ротор находится на весу и удерживается в нужном положении при помощи трубы, надетой на вал.

Весьма удобной является вертикальная разборка, требующая, однако, предварительной перекантовки машины и достаточной высоты подкранового пути. При этом способе разборки после снятия верхнего щита якорь застропливают за подъемное кольцо, ввернутое в вал, крюк крана устанавливают над центром машины так, чтобы ротор легко вращался от руки, и при непрерывном поворачивании его рукой вытаскивают из статора.

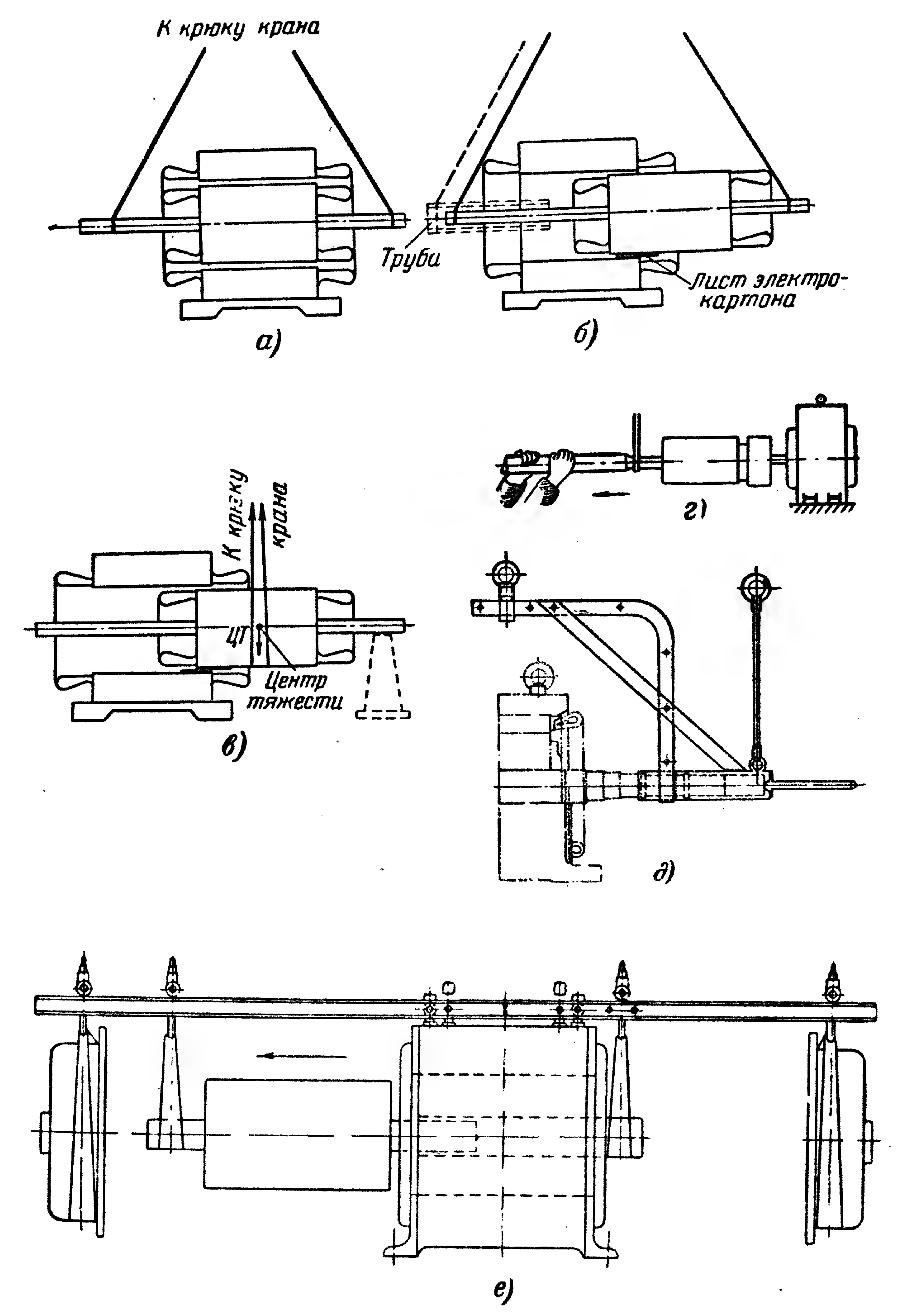


Рис. 1-7. Способы выемки ротора из статора.

а, б и *в* — операции выемки ротора краном с перестановкой; *г* — выемка краном за одну операцию; *д* — выемка краном посредством приспособления; *е* — выемка с установкой приспособления на корпус электродвигателя.

1-2. РАЗБОРКА КРУПНЫХ МАШИН

Вывод ротора крупных машин можно производить различными приемами. У машин с разъемным статором эта операция производится наиболее просто. Крупные синхронные двигатели для компрессоров часто имеют разъемное полюсное колесо, разборка производится путем сдвига статора в одну сторону, а полюсного колеса после отпу-

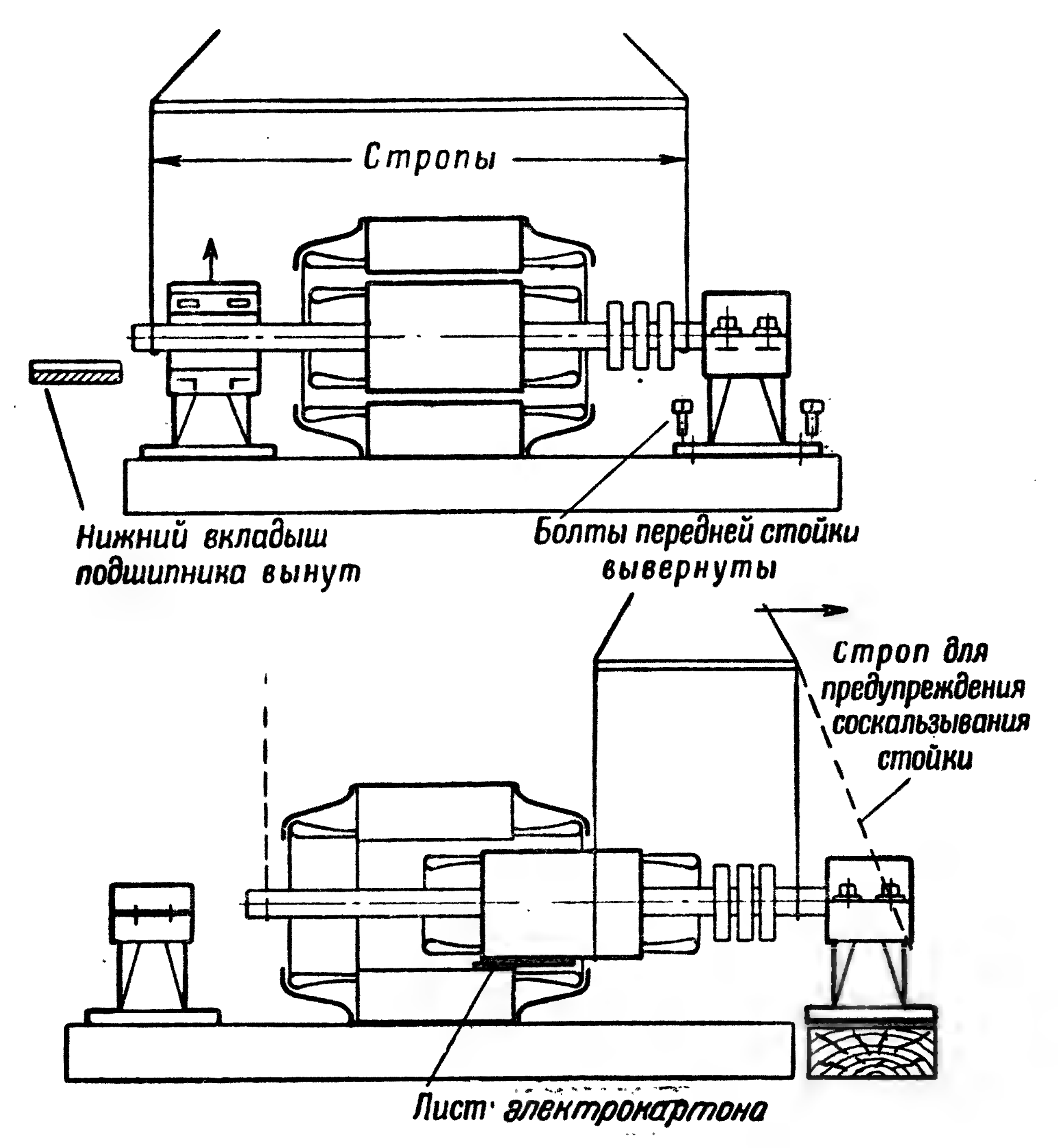


Рис. 1-8. Выемка ротора крупной машины.

ска стяжных болтов — в другую сторону. После этого колесо разбирают на части и снимают с вала. Фундамент должен позволять выдвигание полюсного колеса из статора.

У машин с подшипниковыми стойками перед выводом ротора освобождают болты, крепящие стойку переднего подшипника к плите. У второго подшипника снимают крышку и верхнюю половину вкладыша. Если машина короткая, то ротор может быть застроплен так, как показано на рис. 1-8. После подтягивания стропов вынимают нижнюю половину вкладыша заднего подшипника и ротор вы-

водят с перехватом стропов так же, как это описано выше, вместе с передней подшипниковой стойкой.

Если статор представляет собой тонкое кольцо большого диаметра (многополюсные машины), то во время перехвата стропов опирать тяжелый ротор на статор нельзя. Статор должен для этой цели поддерживаться домкратами под нижние продольные ребра. Между статором и ротором должен быть проложен электрокартон достаточной толщины.

Вывод ротора крупных машин большой длины производится двумя способами. Первый заключается в том, что под переднюю стойку подводят гладкие металлические по-

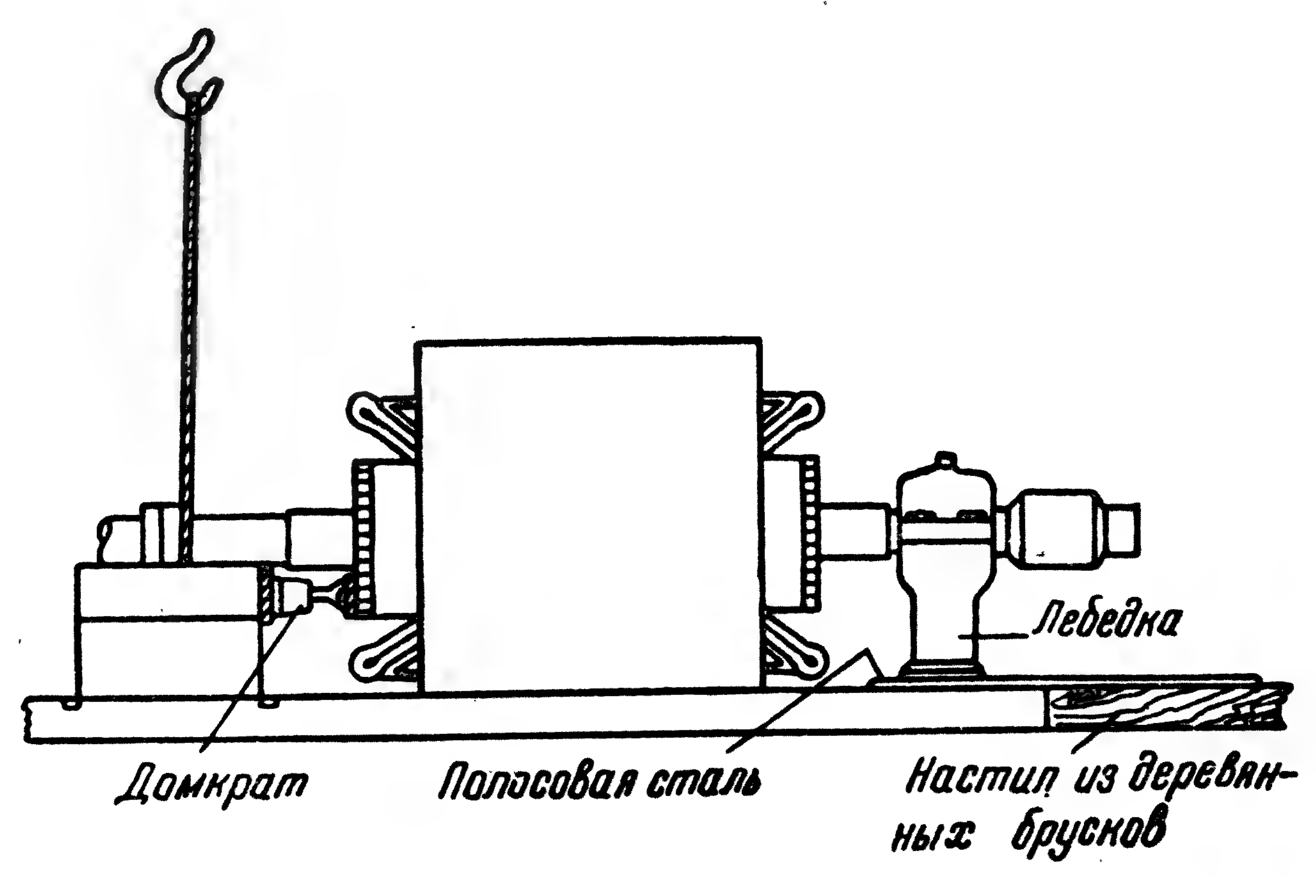
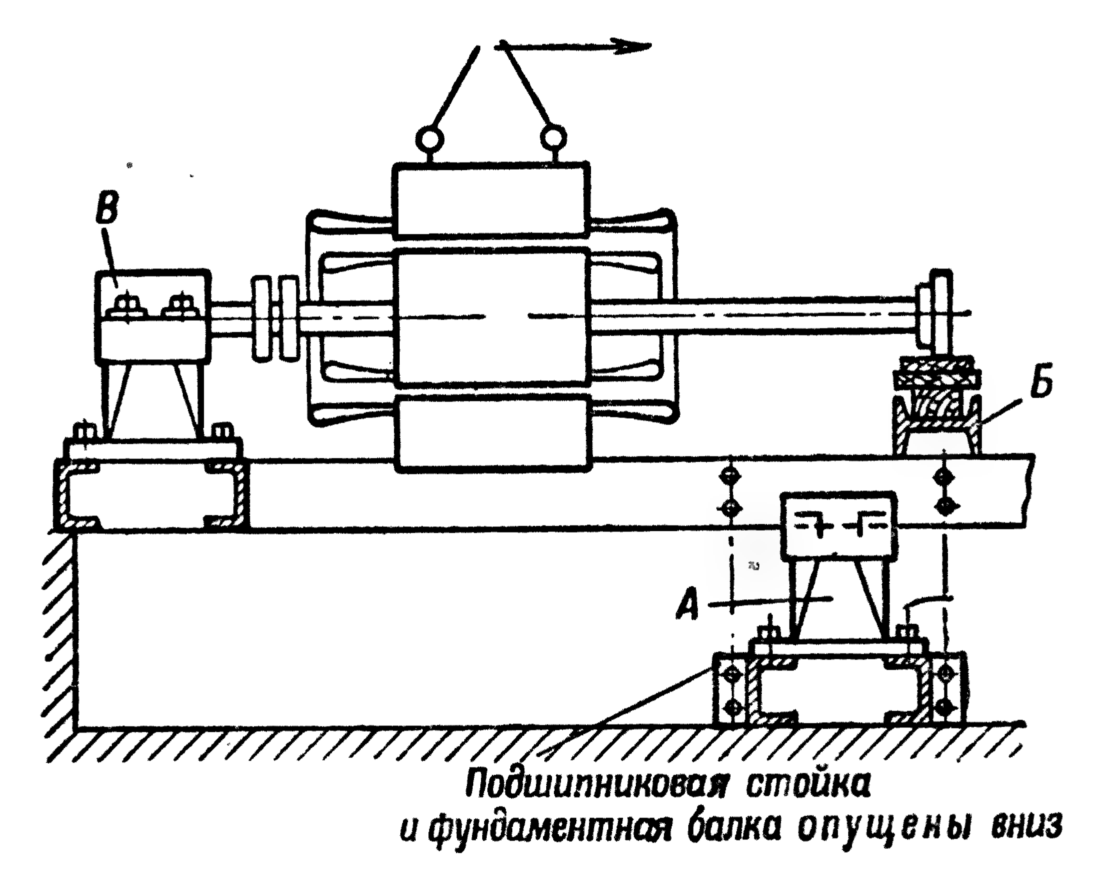


Рис. 1-9. Выдвигание ротора из статора.

лосы, лежащие на точно выверенном настиле. Ротор приподнимают краном за конец вала (рис. 1-9), после чего домкратом и лебедкой, тянущей за стойку переднего подшипника, скользящую по металлическим полосам, выводят ротор. Для того чтобы обеспечить возможность вывода центра тяжести ротора, задний конец вала необходимо удлинять насадкой на него трубы. После выхода центра тяжести ротор выдвигается из статора (рис. 1-8) и удаляется при помощи стропов.

Второй способ заключается в том, что стойку переднего подшипника убирают и вместо нее под шейку вала подводят специальную тележку на роликах, могущую катиться по выверенному настилу с направляющей. Для этой операции ротор поднимают краном за вал и в зазор вкладывают лист электрокартона и стальной лист, выгнутый по

расточке статора. После этого к задней шейке крепят вторую тележку, могущую катиться по стальному листу, уложенному в расточку. Эта тележка вначале монтируется колесами вверх, ротор поднимается краном за задний конец вала и выводится из статора до тех пор, пока стропы не подойдут к лобовой части. Тогда поворотом вокруг вала



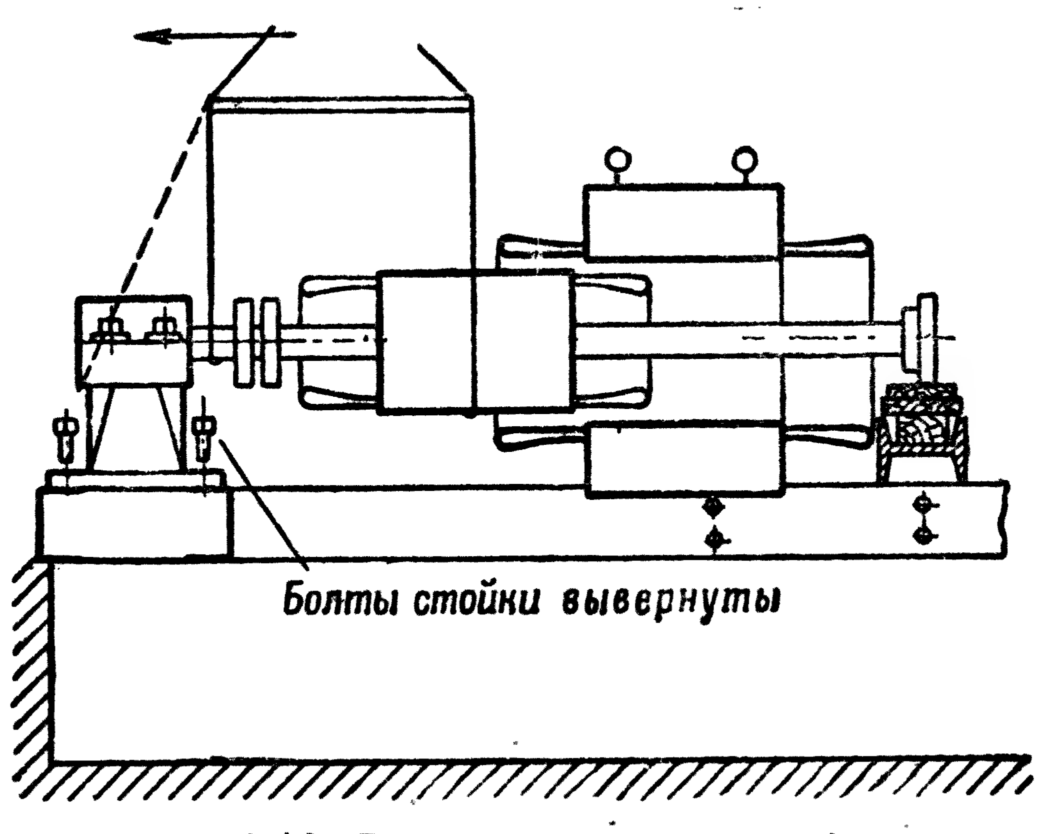


Рис. 1-10. Выемка ротора с муфтой.

опускается задняя тележка, колеса которой становятся на стальной лист, и ротор выводят, вытаскивая его лебедкой за переднюю тележку. После выхода центра тяжести ротор при помощи стропов выводят окончательно.

У машин с муфтами на конце вала для разборки без снятия муфты приходится опускать подшипниковую стойку вместе с поперечной балкой плиты вниз (рис. 1-10).

Разборку такой машины производят в следующем порядке:

1) раскрывается подшипник *А*, разболчивается поперечная балка фундаментной плиты и опускается вместе с подшипниковой стойкой вниз; конец ротора опирается на временную поддерживающую балку *Б*;

2) статор сдвигается в сторону временной балки, насколько позволяют головки обмотки;

3) после этого появляется возможность застропить ротор вместе с передней подшипниковой стойкой *В*, которая освобождается от болтов, крепящих ее к плите;

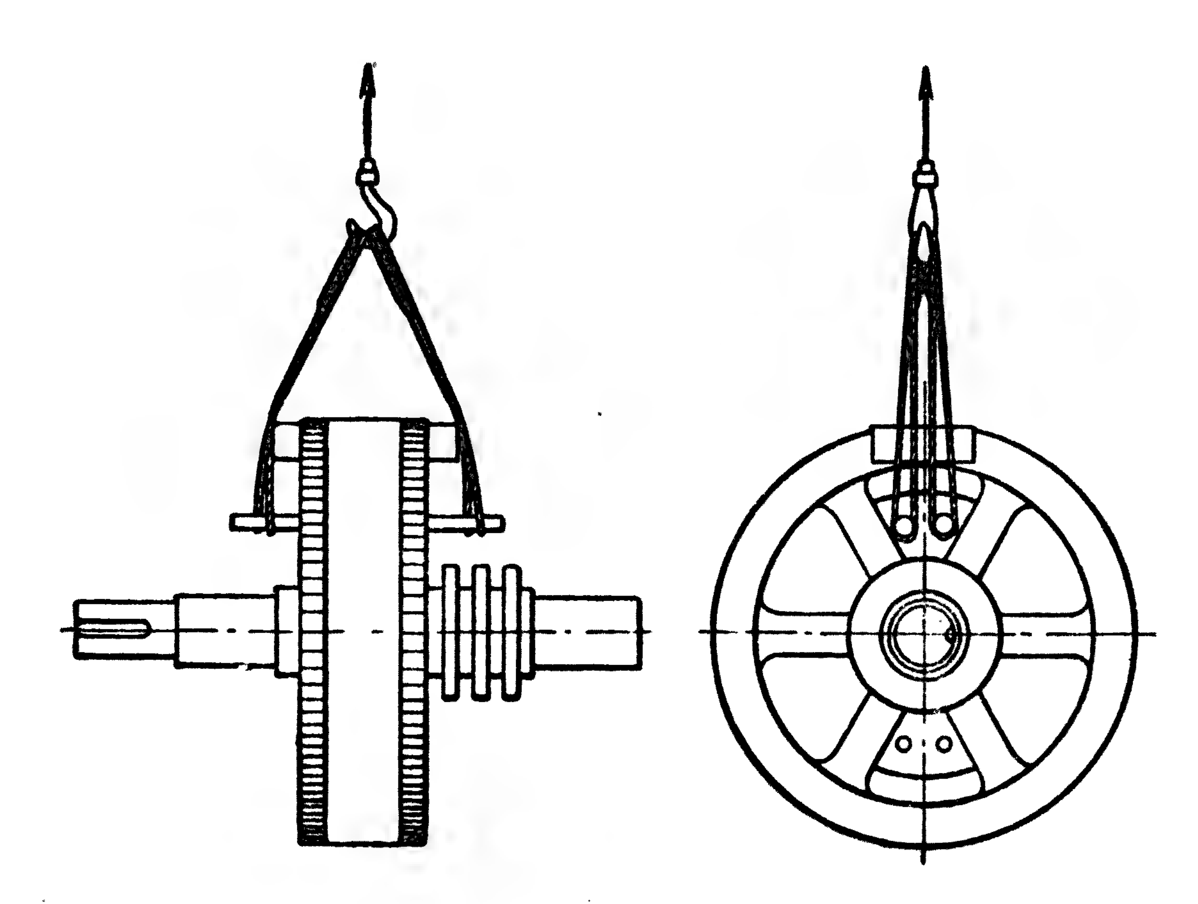


Рис. 1-11. Подъем ротора краном.

4) удаляется временная балка;

5) удаляется ротор вместе со стойкой *В*.

Особо важное значение при разборке и сборке приобретают такелажные работы, т. е. подъем, опускание, передвижение деталей машины. При ремонте крупных машин эти работы обязательно должны вести опытные такелажники. Роторы могут застропливаться за сердечник, вал или спицы (рис. 1-11). В первом случае для защиты ротора от повреждения, в особенности при стальных стропах, между стропами и ротором должны быть проложены доски. Если ротор застроплен за вал, то во избежание повреждения лобовых частей обмотки между стропами ставится прочная распорка. Шейки вала также должны быть защищены деревом. Вообще следует помнить, что лобовые части обмотки, бандажи, коллекторы, зубцы роторов и

якорей представляют собой нежные и хрупкие части машины и нажим стропов на них недопустим.

Укладывать ротор (якорь) на пол ни в коем случае не допускается. Хранить роторы (якоря) наиболее целесообразно на опорах, подставленных под шейки вала, а для якорей, имеющих специальный задний фланец обмоткодержателя, — в вертикальном положении.

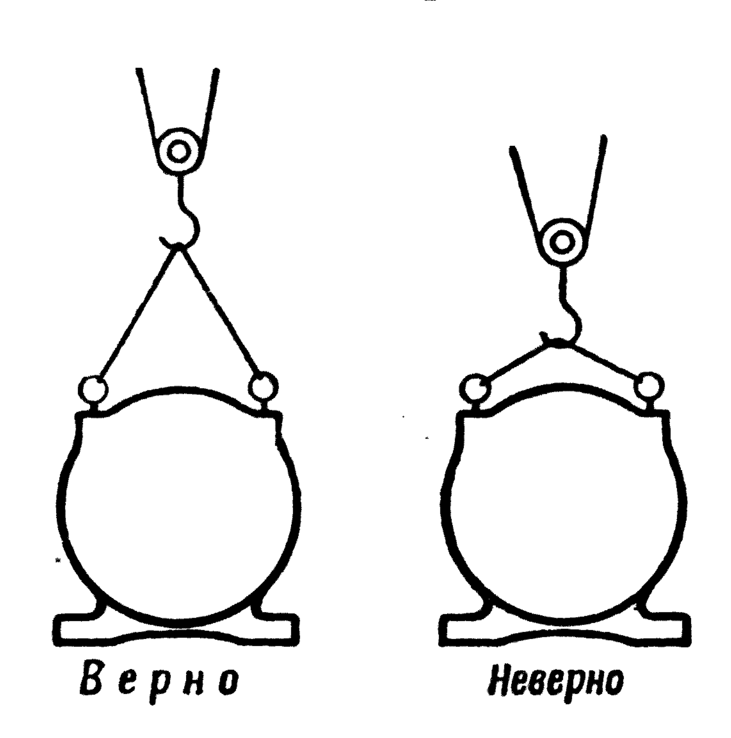


Рис. 1-12. Подъем статора краном.

Если подъем производится за подъемное кольцо (рым), то следует избегать застропливания крюка слишком близко к кольцам (рис. 1-12). В этом случае стропы получают большие дополнительные усилия, приводившие неоднократно к разрыву стропов и поломке колец.

Все тросы, предназначенные для подъема крупных тяжелых деталей, должны быть предварительно испытаны и

Таблица 1-1

Нагрузка стальных и пеньковых канатов

Диаметр, *мм*	Максимально допустимая нагрузка, *кг*	Диаметр, *мм*	Максимально допустимая нагрузка, *кг*
	А. Стальные канаты		
8,7	370	19,5	1 880
11	580	21,5	2 300
13	840	30	4 550
15	1 160	39	7 500
17,5	1 490		
	Б. Пеньковые канаты бельные, трехпрядные		
8,3	50	28,1	620
10,2	80	32,5	830
12,1	110	36,6	1 000
14	150	40,8	1 300
15,9	200	44,8	1 580
20	300	49,0	1 880
24,1	450		

Примечания: 1. Испытание стальных и пеньковых канатов в эксплуатации производится на двойную максимально допустимую нагрузку.

2. При застропливании под углом около 45° допустимая нагрузка около 0,7 от приведенной в таблице.

иметь соответствующую бирку. Тросы с оборванными прядями к работе не допускаются.

Допустимые нагрузки на пеньковые и стальные канаты приведены в табл. 1-1.

1-3. СБОРКА МАШИН ПОСЛЕ РЕМОНТА

Предварительно проходят сборку основные узлы, после чего производится сборка всей машины.

Ввод ротора в статор производится теми же приемами, что и вывод его, но в обратном порядке. Подшипниковые щиты должны с достаточным натягом садиться на центрирующие заточки статора. Посадка их на место достигается равномерной подтяжкой болтов, крепящих щиты к станине. Для осуществления насадки допускаются удары свинцовой болванкой по окружности щита. Однако здесь нужна осторожность, чтобы не разбить щит.

Насадка ролико- и шарикоподшипников на вал производится с предварительным подогревом подшипника в масляной ванне до 100° С.

При сборке машины производят ряд операционных проверок правильности выполненных работ и соблюдения условий, необходимых для нормальной работы машины:

1. Проверка легкости вращения ротора, в особенности при шариковых и роликовых подшипниках. Тугое вращение ротора указывает на перекос подшипников или подшипниковых щитов, на трение ротора о статор, вентилятора о корпус или на наличие посторонних предметов в машине.

2. Проверка зазора между ротором и статором или между якорем и полюсами, который должен быть одинаковым по всей окружности. Разница между величинами зазоров, измеренная в двух диаметрально противоположных точках ротора, разделенная на два, называется эксцентриситетом. Измерение величины зазора производится щупами. Наиболее простая форма щупов — набор пластинок различной толщины.

Для больших машин со значительной величиной воздушного зазора делаются специальные раздвижные щупы. Измерение зазора требует известного навыка, так как на результат измерения может повлиять пленка лака на поверхности ротора или щуп может попасть не на зубец ротора, а на пазовые клинья. Обычно измерение производят в четырех — шести точках по окружности. Измерение должно быть произведено с обеих сторон машины, чтобы

убедиться в отсутствии клинообразного зазора и при нескольких положениях ротора.

Эксцентрицитет вызывает сильное одностороннее притяжение ротора, нагружающее вал и подшипники, неравномерную нагрузку отдельных катушек обмотки статора, включенных параллельно, уравнительные токи и ухудшение коммутации в якорях машин постоянного тока. Для машин постоянного тока с волновой обмоткой допускается некоторое увеличение зазора снизу и соответственное уменьшение зазора сверху. При срабатывании подшипников зазор будет выравниваться. Кроме того, уменьшение зазора сверху вызывает притяжение якоря к верхним полюсам и некоторую разгрузку подшипников.

Недопустимый эксцентрицитет может явиться следствием износа или неправильной расточки вкладыша, неправильной обработки щита, при которой центральное отверстие и посадочная поверхность щита расточены со смещением центра или вследствие несовпадения центра расточки сердечника статора и посадочной поверхности станины под щит. Исправление эксцентрицитета подшабриванием посадочных поверхностей станины или щита, с одной стороны, и наклепыванием или накерниванием их, с другой — ни в коем случае нельзя допускать, так как после первой же разборки вся работа по регулировке зазора пропадает. Нужно произвести заварку и новую расточку посадочных поверхностей станины или подшипникового щита.

У машин с разъемными подшипниками в качестве временной меры до перезаливки вкладышей удается исправить эксцентрицитет постановкой тонких прокладок под вкладыши.

Для асинхронного двигателя, вышедшего из ремонта, величина эксцентрицитета не должна превышать 10—15% от средней нормальной величины зазора. Больший зазор должен быть с той стороны, в направлении которой действуют совместные усилия веса якоря (ротора) и натяжения ремня (или давление на зуб шестерни).

Максимальный эксцентрицитет асинхронного двигателя в эксплуатации не должен превышать 15—20% от средней величины зазора. При больших величинах эксцентрицитета двигатель должен быть направлен в ремонт.

Для машин постоянного тока допустимая величина эксцентрицитета зависит от типа обмотки. Для волновых обмоток максимальный эксцентрицитет машины в эксплуа-

тации может доходить до 25%. Для многополюсных машин с петлевой обмоткой и уравнительными соединениями максимальная величина эксцентрицитета в эксплуатации не должна превышать 10—12%.

Зазор между ротором и статором должен иметь определенную (номинальную) среднюю величину. Величина зазоров в машинах постоянного тока связана с числом оборотов (у двигателя) или с напряжением (у генератора). Зазор под добавочными полюсами не должен отличаться от номинального (расчетного) более чем на ±5%. В машинах постоянного тока величина зазора может быть отрегулирована путем установки прокладок на листовой стали между полюсами и станиной. Это относится и к синхронным машинам с явно выраженными полюсами. В асинхронных машинах зазор берется весьма малым (табл. 1-2), так как он влияет на величину тока холостого хода.

Таблица 1-2

Зазоры между статором и ротором асинхронных двигателей (ориентировочные величины)

Диаметр ротора, *мм*	Зазор, *мм*	Диаметр ротора, *мм*	Зазор, *мм*
50	0,2	450	0,9
150	0,4	1 000	1,3
250	0,6	2 000	2
350	0,7	3 000	2,5

Поэтому следует весьма осторожно относиться ко всякого рода шлифовкам статорной и роторной поверхностей асинхронных двигателей, так как они могут повлечь за собой увеличение тока и повышение нагрева двигателя.

Игра ротора или якоря в осевом направлении у машин на подшипниках скольжения должна быть в пределах 1—2 *мм*. Полное отсутствие этой игры указывает на то, что якорь (ротор) зажат между подшипниками и при нагревании его могут создаться сильное трение на торцовых поверхностях подшипников и заедание их. При скользящих подшипниках осевую игру обеспечивают соответствующей установкой вкладышей в корпусе подшипника, после чего вкладыш засверливают и ставят стопорный болт.

У машин, имеющих коллектор, должна быть обеспечена правильная установка щеткодержателей. При помощи ин-

дикатора должна быть проверена поверхность коллектора на отсутствие чрезмерного биения. Допустимая величина биения коллектора зависит от диаметра и числа оборотов коллектора и колеблется в пределах 0,03—0,05 *мм*. Выступание отдельных пластин не допускается. Индикатор должен иметь на конце насадку, допускающую измерение на продороженной поверхности коллектора.

У машин с добавочными полюсами щетки должны находиться строго на нейтрали. Обычно у машин постоянного тока имеются отметки положения траверсы щеткодержателей, сделанные на заводе-изготовителе.

Тем не менее после разборки и ремонта необходимо установить траверсу заново.

Проверка положения траверсы может быть сделана на основании следующего опыта: в катушки главных полюсов пропускают слабый ток от постороннего источника постоянного тока и производят замыкание и размыкание цепи. Между щетками разной полярности включают вольтметр с нулем посередине шкалы, и траверсу сдвигают до тех пор, пока отклонение вольтметра не станет возможно более близким к нулю.

Этот опыт можно проводить и при питании обмотки возбуждения слабым переменным током. При этом не нужно размыкать обмотку.

Более точно установка щеткодержателей, т. е. определение нейтрали у двигателей, делается под нагрузкой методом реверсирования (двигателя) посредством сдвигания щеткодержателей до тех пор, пока число оборотов двигателя не будет одинаковым при обоих направлениях вращения.

Перед сборкой машин постоянного тока проверяют чередование полярности полюсов. Полюсы возбуждают постоянным током, после чего компасной стрелкой или намагниченным стальным пером их обходят по очереди. За северным полюсом должен следовать южный, далее опять северный и так далее. Правильное чередование может быть также установлено по силе притяжения куска стали. Между разноименными полюсами он притягивается сильно, между одноименными слабо или совсем не притягивается (см. гл. 8).

Замыкающий механизм роторов асинхронных двигателей проверяется на плотность контакта между замыкающим кольцом и пружинными пальцами. Кроме того, при установке аксиального расхода должно быть обеспечено такое положение ротора, чтобы при замкнутом накоротко

роторе сухари, передвигающие замыкающее кольцо, не терлись об него, а подъем щеток происходил лишь после замыкания колец накоротко.

Допускаемый эксцентрицитет контактных колец 0,02—0,03 *мм*, торцовое биение 0,5 *мм*.

ГЛАВА ВТОРАЯ

ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ИЗОЛЯЦИИ

2-1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Изоляция электрических машин в эксплуатации подвергается постепенному износу — старению под воздействием нагревания, механических нагрузок, электрического напряжения (в особенности у высоковольтных машин), действия масел, химических веществ, влаги, пыли и т. п.

Внешними признаками старения являются потемнение цвета изоляционных материалов, хрупкость их (действие нагрева), наличие трещин в лаковой пленке (нагрев и механические усилия), разрушения лаковой пленки (действие химических веществ масла, пыли), разбухание изоляционных гильз и пазовой изоляции (нагрев и электрическое напряжение).

Следует отметить, что внешний осмотр и измерение сопротивления изоляции (мегомметром) дают лишь некоторую ориентировку, а не точную картину состояния изоляции.

Для определения состояния изоляции машин высокого напряжения следует, кроме указанных выше, применять специальные методы определения состояния изоляции (измерение диэлектрических потерь, снятие кривых абсорбции и ряд других [1]).

Уход за изоляцией заключается в периодической чистке (тряпкой, смоченной в бензине), продувке, а также в периодической пропитке соответствующими лаками (профилактическая пропитка).

Одной из основных характеристик изоляционных материалов является их пробивное напряжение. Величина минимального напряжения, при котором происходит пробой изоляционного материала толщиной 1 *мм*, определяет его электрическую прочность.

---

[1] В. И. Калитвянский, Изоляция электрических машин, ГЭИ, 1949.

Если изоляция состоит из слоев различных материалов, то напряжение, действующее на такую изоляцию, распределяется по слоям неравномерно и может оказаться, что один из слоев, на который приходится наибольшее напряжение (на единицу толщины), будет пробит.

В частности, из-за неплотного прилегания слоев изоляции образуются воздушные прослойки, в которых под воздействием напряжения возможна ионизация (разложение) воздуха, приводящая к постепенной порче соседних слоев изоляции.

Для того чтобы предотвратить ионизацию воздуха между обмоткой и стенкой паза, у машин высокого напряжения (3 000 *в* и более) применяется покрытие пазовой части обмотки по верху изоляции полупроводящей асбестовой лентой.

Воздушные прослойки резко ухудшают теплопроводность изоляции, что повышает перегрев обмоток и снижает срок службы изоляции, а также способствует проникновению влаги внутрь изоляции и порче ее.

Поэтому изоляцию электрических машин следует производить так, чтобы по возможности избежать воздушных прослоек в ней. С этой целью все поры изоляции заполняются специальными составами (лаками или битумами), изоляция подвергается сушке и последующей пропитке, опрессовке и т. д.

Места, где секции выходят из пазов, являются наиболее слабыми, так как, кроме усиленной электрической нагрузки, в этом месте наиболее часты механические повреждения изоляции.

Изоляционный материал может не только пробиваться, т. е. пропускать ток пробоя через свою толщу, но при определенном напряжении, действующем вдоль его поверхности, пропускать ток поверхностного разряда (перекрытие).

Поэтому изоляция всех обмоток или деталей должна быть выполнена так, чтобы были соблюдены как *определенные толщины,* так и *определенные расстояния по поверхности* изоляции между токоведущей частью и корпусом или другой токоведущей частью.

С этой целью усиленная изоляция, имеющая место в пазу, должна выступать и иметь так называемый «вылет» за пределы паза на определенную длину *a*, зависящую от напряжения.

Величина a определяется по формуле

$$a = 10 + \frac{U}{200} \text{ [мм]},$$

где U — рабочее напряжение, *в*.

Точно так же изоляционные конусы коллектора должны выступать из-под пластин на определенную величину, зависящую от напряжения («вылет»), пальцы щеткодержателей должны иметь определенную длину и т. д.

Весьма важной характеристикой изоляционных материалов является их нагревостойкость.

Нагревостойкость характеризуется наибольшей температурой, при которой данный изоляционный материал может длительно работать.

Поскольку нагрев машины (ее температура) растет с увеличением мощности, которую она отдает, *допустимая для изоляции наибольшая рабочая температура определяет мощность машины* и, следовательно, использование активных материалов (меди, электротехнической стали).

Применение более нагревостойких изоляционных материалов позволяет повысить мощность машины без увеличения ее размеров и веса.

Поэтому в области создания нагревостойких изоляционных материалов непрерывно ведутся работы, приведшие, в частности, к созданию (чл.-корр. АН СССР К. А. Андриановым и др. в ВЭИ) весьма надежной и нагревостойкой кремнийорганической изоляции (специальные нагревостойкие лаки в сочетании с материалами из стекловолокна и слюдой) с рабочей температурой до 180° С (разумеется, что повышение рабочей температуры машины связано также с необходимостью применения более нагревостойкой смазки, припоев, щеток и т. д.).

По нагревостойкости применяемые в электромашиностроении изоляционные материалы делятся на 5 классов:

Класс А	с рабочей	температурой	до	105° С
Е (или АВ)	„	„	„	„	120° С
В	„	„	„	„	130° С
F (или ВС)	„	„	„	„	155° С
Н (или СВ)	„	„	„	„	180° С

К классу А относятся: хлопок, шелк, бумага, пропитанные или погруженные в жидкий диэлектрик (например, масло), а также другие соответствующие данному классу по нагревостойкости органические или неорганические материалы. К этому же классу относятся эмалевая изоляция проводов марки ПЭЛ.

К классу Е (АВ) относятся различные синтетические органические пленки и пластмассы, например эмалевая изоляция проводов марки ПЭВ (наибольшая рабочая температура 110° С).

К классу В относятся материалы на основе слюды, асбеста и стекловолокна, а также соответствующие пластмассы с неорганическим наполнителем. В состав изоляции класса В могут входить органические материалы класса А (в качестве подложки, связующего

Таблица 2-

Предельные допустимые превышения температуры частей электрических машин при температуре охлаждающей среды +35° С и высоте над уровнем моря не более 1 000 *м* (по ГОСТ 183-55)

№ п/п.	Части электрических машин	Изолирующий материал класса А		Изолирующий материал класса В		
		При измерении				
		методом термометра	методом сопротивления	методом термометра	методом сопротивления	методом заложенных и встраиваемых температурных детекторов при укладке их между катушками в одном валу
		°С не более				
1[1]	Обмотки переменного тока синхронных машин и асинхронных машин мощностью 5 000 *ква* и выше или с длиной сердечника 1 *м* и более	—	—	—	80	85
1[2, 3]	а) Обмотки переменного тока машин мощностью менее 5 000 *ква* или с длиной сердечника менее 1 *м* б) Обмотки возбуждения (многослойные) машин постоянного и переменного тока с возбуждением постоянным током, кроме указанных в пп. 3 и 4 настоящей таблицы в) Якорные обмотки, соединенные с коллектором	60	65	75	85	—
3	а) Однорядные обмотки возбуждения	70	70	95	95	—
	б) Стержневые обмотки роторов асинхронных машин при числе стержней в пазу не больше двух	—	70	—	95	—

4[2]	Обмотки возбуждения малого сопротивления, имеющие несколько слоев, и компенсационные обмотки	65	65	85	85	—
5	Изолированные обмотки, непрерывно замкнутые на себя	65	—	85	—	—
6	Неизолированные обмотки, непрерывно замкнутые на себя	Превышение температуры этих частей не должно достигать значений, которые создали бы опасность повреждения изолирующих или других смежных материалов 65° С, если изоляционный материал обмоток принадлежит к классу А, и 85° С, если изоляционный материал обмоток принадлежит к классу В и при этом для изоляции листов активной стали применен соответствующий лак				
7	Стальные сердечники и другие части, не соприкасающиеся с обмотками					
8	Стальные сердечники и другие части, соприкасающиеся с обмотками	—	—	—	—	—
9	Контактные кольца как защищенные, так и незащищенные	70	—	90	—	—
10[4]	Коллекторы	65	—	85	—	—

[1] Для обмоток синхронных машин на номинальное напряжение больше 11 000 *в* предельные допустимые превышения температур должны быть снижены на 1° С на каждые 1 000 *в* сверх 11 000 *в*.

[2] Одновременное измерение превышения температуры по методу термометра и по методу сопротивления не требуется. Если в дополнение к значениям, полученным по методу сопротивления, желательно иметь отсчет по термометру (или встраиваемому температурному детектору), то допускаемое превышение температуры по термометру (или встраиваемому температурному детектору), помещенному в наиболее горячую точку, не должно превышать 70° С, если обмотка изолирована материалами класса А, и 90° С, если обмотка изолирована материалами класса В.

[3] Указанные для этих обмоток пределы превышений температуры, измеренные методом сопротивления, для закрытых машин на напряжения не свыше 1 500 *в* допускается повышать на 5° С.

[4] Указание класса изолирующего материала относится к изоляции обмотки, соединяемой с коллектором.

и т. п.) при условии, что ухудшение свойств материалов класса А под действием температуры не сможет сделать изолирующий материал класса В непригодным для длительной работы.

К классам F (ВС) и Н (СВ) относятся материалы на основе слюды, асбеста, стекловолокна на нагревостойких лаках.

Существуют также классы изоляции Y (непропитанные органические материалы: фибра, дерево, резина) с рабочей температурой до 90° С и С (фарфор, асбест, стекло, кварц), для которого предельная рабочая температура не устанавливается. Материалы класса С находят в электрических машинах ограниченное применение.

Для нормальных электрических машин допустимая температура нагрева для обмоток с изоляцией классов А и В устанавливается ГОСТ 183-55 (табл. 2-1). В таблице указывается допустимое превышение температуры обмотки над охлаждающим воздухом, температура которого принята равной 35° С.

В табл. 2-1 устанавливаются также допустимые превышения температур для коллекторов, сердечников и контактных колец.

Предельно допустимая температура подшипников установлена равной 80° С для подшипников скольжения и 95° С для подшипников качения.

Следует помнить, что увеличение температуры сверх указанных здесь пределов резко сокращает срок службы изоляции. Так, увеличение температуры на 10° сокращает срок службы приблизительно в 2 раза.

В некоторых специальных случаях с целью уменьшения веса и размеров машины (тяговые, краново-подъемные двигатели и т. п.) допустима работа при блоее высоких температурах за счет сокращения межремонтного срока.

В качестве основных изоляционных материалов для изоляции обмоток и деталей (пазов, обмоткодержателей, коллекторов) применяются лакоткани, т. е. ткани (хлопчатобумажные и шелковые класс А, стеклянные — классы В и F), пропитанные соответствующими лаками, и слюдяная изоляция (миканиты, классы В, F, Н).

Электрокартон, бумаги, хлопчатобумажные, шелковые, стеклянные и асбестовые ткани и ленты применяются для защиты указанных выше изоляционных материалов от механических повреждений и для придания обмоткам большей прочности.

Для машин низкого напряжения (до 110 *в*) с пониженными требованиями по влагостойкости в качестве основной изоляции обмоток могут применяться: электрокар-

тон, бумага, хлопчатобумажные ленты и другие волокнистые материалы.

Волокнистые материалы находят широкое применение в качестве межвитковой изоляции (изоляция обмоточных проводов, прокладки и т. п.).

Все волокнистые материалы могут применяться только в пропитанном виде.

Значительное место в электромашиностроении начинают занимать синтетические материалы. К их числу относятся смола типа винифлекс (изоляция эмальпроводов марки ПЭВ), капрон (изоляция эмальпроводов марки ПЭЛ-Р), кремнийорганические лаки, пленочная (триацетатная) изоляция и др.

Эти материалы обладают рядом ценных свойств, в частности повышенной влагостойкостью.

Если машина в результате тяжелых условий эксплуатации (перегрузки, высокой температуры, влажности, наличия в воздухе пыли, кислот и т. п.) часто выходит из строя вследствие порчи изоляции, а возможность улучшить эксплуатационные условия отсутствует, следует при ремонте принять меры к усилению свойств изоляции.

В частности, применением слюдяных, стеклянных, стеклослюдяных изоляционных изделий и нагревостойких лаков, разработанных нашей промышленностью, можно повысить нагревостойкость обмоток и увеличить мощность машины.

Применением соответствующих лаков может быть достигнуто повышение стойкости обмотки против масла, химических паров и частиц, попадающих на изоляцию. Следует иметь в виду, что слюдяные и в особенности стеклослюдяные изделия дороги, и поэтому применять их следует лишь тогда, когда решение вопроса другим путем нецелесообразно.

Ниже приводятся краткие данные по обмоточным проводам и по основным видам изоляционных материалов и даются рекомендации по их применению.

2-2. ОБМОТОЧНЫЕ ПРОВОДА

Основные характеристики обмоточных проводов приведены в табл. 2-2.

Номинальные диаметры проволоки, идущей для изготовления проводов, приведены в табл. 2-3.

Таблица 2-2

Обмоточные провода

Марка провода	Характеристика изоляции	Класс	Изготовляемые размеры (по меди), *мм*
	I. Эмалевая		
ПЭЛ	Эмаль лакостойкая	А	∅ 0,05—2,44
ПЭЛУ	То же с утолщенной изоляцией	А	∅ 0,05—2,44
ПЭВ-1	Один слой высокопрочной эмали (винифлекс)	АВ	∅ 0,06—2,44
ПЭВ-2	Два слоя высокопрочной эмали (винифлекс)	АВ	∅ 0,06—2,44
ПЭВ-II	То же прямоугольный провод	АВ	(0,5—1,95)×(2,1—5,9)
ПЭЛР-1	Один слой высокопрочной (полиамидной) эмали (капрон)	АВ	∅ 0,1—2,44
ПЭЛР-2	Два слоя высокопрочной (полиамидной) эмали (капрон)		∅ 0,1—2,44
ПЭТК	Нагревостойкая кремнийорганическая эмаль	Н	∅ 0,05—0,51
ПЭТК	То же прямоугольный провод	Н	(0,83—1,95)×(2,1—4,7)
	II. Волокнистая		
ПБО	1 слой хлопчатобумажной обмотки	А	∅ 0,01—2,1
ПБОО	1 слой хлопчатобумажной обмотки и оплетки	А	∅ 1,0—5,2
ПБД	2 слоя хлопчатобумажной обмотки	А	∅ 0,2—5,2 ∅ (0,83—5,5)×(2,1—14,5)
ПШД	2 слоя шелковой обмотки[1]	А	(0,83—1,0)×(3,53—3,80)
ПСД	2 слоя стеклянной обмотки		∅ 0,31—5,2 (0,9—5,1)×(2,1—10)
ПСДК	То же на кремнийорганическом лаке	Н	
ПДА	Изоляция асбестовым волокном	В	∅ 1,0—4,8 (1,16—5,1)×(2,1—7,4)

Изоляция искусственным шелком (капрон) обозначается ШК, например ПЭЛШКО.

Марка провода	Характеристика изоляции	Класс	Изготовляемые размеры (по меди), *мм*
	III. Комбинированная		
ПЭЛБО	Лакостойкая эмаль и 1 слой хлопчатобумажной обмотки	А	∅ 0,2—2,1
ПЭЛБД	Лакостойкая эмаль и 2 слоя хлопчатобумажной обмотки	А	∅ 0,72—2,1
ПЭЛШО	Лакостойкая эмаль и 1 слой шелковой обмотки[1]	А	∅ 0,05—2,1
ПЭЛШД	Лакостойкая эмаль и 2 слоя шелковой обмотки	А	∅ 0,86
ПЭВШО	Эмаль высокопрочная и 1 слой шелковой обмотки	А	∅ 0,07—0,51
ПЭТСО	Теплостойкая эмаль и 1 слой стеклянной обмотки	В	∅ 0,38—1,81
ПЭТКСО	Нагревостойкая кремнийорганическая эмаль и 1 слой стеклянной обмотки	Н	∅ 0,38—1,56
	IV. Многожильный провод (литца)		
ЛВОО	Литца вальцованная (провод, скрученный из нескольких медных проволок и провальцованный), изолированная 1 слоем хлопчатобумажной обмотки и одной хлопчатобумажной оплеткой	А	(2,8—12,5)×(1,6—8,0)
ЛВДО	То же, изолированная двумя слоями хлопчатобумажной обмотки и одной хлопчатобумажной оплеткой	А	(2,8—12,5)×(1,6—8,0)

[1] И золяция искусственным шелком (капрон) обозначается ШК, например ПЭЛШКО.

Таблица 2-3

Номинальные диаметры проволоки

Номинальные диаметры, *мм*							
0,05	0,16	0,33	0,59	0,90	1,30	1,95	4,1
0,06	0,17	0,35	0,62	0,93	1,35	2,02	4,5
0,07	0,18	0,38	0,64	0,96	1,40	2,10	4,8
0,08	0,19	0,41	0,67	1,00	1,45	2,26	5,2
0,09	0,20	0,44	0,69	1,04	1,50	2,44	5,5
0,10	0,21	0,47	0,72	1,08	1,56	2,63	—
0,11	0,23	0,49	0,74	1,12	1,62	2,83	—
0,12	0,25	0,51	0,77	1,16	1,68	3,05	—
0,13	0,27	0,53	0,80	1,20	1,74	3,28	—
0,14	0,29	0,55	0,83	1,25	1,81	3,53	—
0,15	0,31	0,57	0,86	—	1,88	3,8	—

Толщина изоляции проводов указана в табл. 2-4 и 2-5.

Толщина изоляции (на две стороны)

Марка провода \ ⌀, *мм*	0,05—0,09	0,1—0,19	0,40—0,25	0,27—0,29	0,31—0,35
ПЭЛ	0,015	0,020	0,025	}	
ПЭВ-1	0,025	0,030	0,030—0,40	} 0,040	0,040
ПЭЛР-1	—	0,020—0,030	0,030	}	
ПЭВ-2	0,030	0,030—0,040	0,040—0,050	0,050	0,050—0,060
ПЭЛР-2	0,070	0,075	0,090	0.100	0,105
ПЭЛШО	0,073	0,090	0,095	0.105	0,115
ПЭВШО	—	—	0,100	0,120	0,120
ПБО	—	—	0,125	0,155	0,160
ПЭЛБО	—	—	—	—	—
ПЭТСО	—	—	0,190	0,220	0,220
ПБД	—	—	—	—	0,240
ПСД	—	—	—	—	—
ПДА	—	—	—	—	—
ПЭЛБД	—	—	—	—	—
ПБОО	—	—	—	—	—

Указанная для эмальпроводов толщина изоляции включает допуск на увеличение диаметра меди против номинального так, что сумма номинального диаметра и указанной в табл. 2-4 толщины изоляции дает максимальный диаметр провода.

Для проводов других марок дана только толщина изоляции. Допуск на диаметр меди колеблется в пределах ± 1÷ 3%.

Кроме указанных в табл. 2-2, для изготовления секций крупных машин высокого напряжения и трансформаторов высокого напряжения выпускаются провода класса А:

а) с пленочно-волокнистой изоляцией, с высоким пробивным напряжением марок ППБО-2, ППТБО, ППКО-2, ППБО-2 — прямоугольные размером (1,6—8) × (2,8—12,5) *мм*.

Изоляция: синтетическая пленка (П), обмотка бумагой (Т) и хлопчатобумажной пряжей (БО) или только хлопчатобумажной пряжей или шелком — капрон (КО); толщина изоляции этих проводов указана в табл. 2-5;

б) с бумажной изоляцией ПБ, ПББО (толщина изоляции проводов ПББО от 0,45 *мм* и выше);

в) с бумажно-волокнистой изоляцией марок ПБТ (изоляция подклеенной телефонной бумагой и двумя слоями хлопчатобумажной пряжи диаметром 1—2,1 *мм*, толщина изоляции 0,21 *мм* на две стороны) и ПБВ (изоляция подклеенной длинноволокнистой бумагой и двумя слоями хлопчатобумажной пряжи диаметром 0,51—1,45, толщина изоляции 0,12—0,14 *мм* на две стороны).

Если имеется возможность замены старого провода проводом той же марки и при эксплуатации машины не наблюдалась какая-либо неисправность, связанная с порчей витковой изоляции, то следует сохранить марку провода, рекомендованную заводом-изготовителем. Если же такой возможности нет или преследуются цели улучшения изоляции, то следует руководствоваться приводимыми ниже общими соображениями по изоляции.

Для неподвижных обмоток возбуждения малых и средних машин

Таблица 2-4

круглых обмоточных проводов, *мм*

0,38—0,49	0,51—0,69	0,72—0,96	1—1,45	1,5—2,10	2,26—2,44	2,44—5,2
0,050	0,060	0,060	0,080	0,090	0,100	—
0,050—0,060	0,070—0,080	0,090	0,110	0,120	0,130	—
0,110	0,115	0,125	0,135	0,155	—	—
0,120	0,125	—	—	—	—	—
0,120	0,120	0,120	0,140	0,140	—	—
0,165	0,170	0,180	0,210	0,210	—	—
0,210	0,210	0,220—0,240	0,240	0,240—0,270	—	—
0,220	0,220	0,220	0,270	0,270	0,330	0,330
0,240	0,260	0,270	0,290	0,310	0,360	0,360—0,380
—	—	—	0,320	0,320—0,330	0,380	0,380—0,400
—	—	0,280	0,330	0,330	—	—
—	—	—	0,85	0,85	0,85	0,85
—	—	—	—	—	—	—

постоянного тока применяется провод марок ПЭВ-2, ПЭЛ, ПЭЛБО, ПЭТСО, для крупных — ПБД, ПСД, ПДА.

Вращающаяся обмотка возбуждения машин средних мощностей выполняется проводом ПБД, ПСД, ПЭЛБО и ПЭТСО.

Для обмоток статоров, роторов и якорей машин средней мощности (от 1 до 100 *квт*) рекомендуется применение проводов марок ПЭЛБО, ПБД (класса А), ПЭТСО, ПСД (класс В).

Для больших мощностей и при большой длине пакетов активной стали провода ПБД и ПСД.

Для статоров и якорей малых машин (менее 1 *квт*), ПЭВ-2, ПЭЛ, ПЭЛШО.

Для протяжных обмоток рекомендуются провода ПБД и ПСД,

Таблица 2-5

Толщина изоляции (на две стороны) прямоугольных проводов, *мм*

a — **меньшая сторона сечения**

Марка провода \ *a*, *мм*	0,83—1,95	2,1—3,8	4,1—5,5
ПБО	0,14	0,175	0,23
ПБД	0,27	0,33	0,44
ПСД	0,27	0,33	0,40
ПДА	0,35/0,40	0,35/0,40	0,40
ППКО-1	0,27	0,33	0,44
ППТБО	0,45	0,45	0,50
ЛВОО	0,65	0,65	0,65
ЛВДО	0,85	0,85	0,85
ПБОО	0,88	0,88	0,88

как более стойкие против сдирания изоляции при протягивании провода через пазы.

Многожильный провод применяется относительно редко; он может потребоваться при ремонте крупных асинхронных двигателей с протяжной обмоткой и генераторов повышенной частоты.

Для крупных высокого напряжения машин, для изготовления секций могут применяться провода ПБО, ПБД, ПДА обычно с наложением на них дополнительной изоляции и провода с пленочно-волокнистой и бумажно-волокнистой изоляцией (класса А).

Обмоточные провода с волокнистой изоляцией перед укладкой в пазы должны пройти пропитку (см. гл. 4), улучшающую механические и электрические свойства изоляции.

При замене старых проводов проводами других марок следует в первую очередь принимать во внимание толщину их изоляции (табл. 2-4—2-5), непосредственно влияющую на укладку проводов в пазы.

Кроме того, следует иметь в виду, что по механической прочности изоляции провода могут быть расположены в порядке убывающей прочности следующим образом: ПБД, ПЭЛБО, ПЭЛШО, ПСД, ПЭТСО, ПДА, ПЭВ, ПЭЛ.

При необходимости увеличения производительности установки и мощности машины, связанной с повышением перегрева, целесообразна замена проводов ПЭЛБО и ПДБ на ПЭТСО и ПСД.

Подобная замена позволяет поднять мощность на 12—20%. Замена проводов марки ПЭЛ проводами марки ПЭВ усиливает межвитковую изоляцию (нагревостойкость, механическая прочность), повышая тем самым надежность машины.

При недостаточном ассортименте обмоточных проводов по сечениям можно менять число параллельных проводов в обмотке, сохраняя суммарное сечение. При этом следует иметь в виду, что:

1) все параллельные провода должны быть одинакового сечения;

2) замена нескольких параллельных проводов одним суммарного сечения возможна в том случае, если этот провод проходит через прорезь паза. Распиловка прорези не допускается. Выполнение последнего условия необязательно, если обмотку можно выполнить впротяжку.

Если почему-либо сечение провода должно быть изменено, то следует иметь в виду, что уменьшение сечения меди обмотки вызывает увеличение перегрева этой обмотки.

Увеличение сечения может быть допущено при условии, что выбранный провод можно уложить в пазы без опасности повреждения изоляции.

Во всех случаях, когда изменяется марка или сечение провода, необходимо уложить две-три пробные секции, прежде чем производить перемотку.

Применяемые для обмоток конкретных машин размеры и марки проводов приведены в таблицах (см. приложения 4 и 5).

2-3. ЛАКОТКАНИ

Лакоткани на хлопчатобумажной и шелковой основе относятся к материалам класса А.

Лакоткани на стеклянной основе, пропитанные нагревостойкими лаками, относятся к материалам классов В и ВС.

Пропитка тканей черными асфальтомасляными и асфальтоглифталемасляными лаками дает *черную лакоткань.*

Пропитка тканей светлыми лаками (масляными, глифталемасляными) дает *светлую лакоткань.*

Черные лакоткани имеют более высокие изоляционные свойства, однако они немаслостойки и более подвержены действию растворителей (бензина и т. п.), чем светлые. Марки и толщины черной лакоткани приведены в табл. 2-6. Марки и толщины хлопчатобумажной и шелковой лакоткани (по ГОСТ 2214-46) приведены в табл. 2-7.

Стеклолакоткань черная получается пропиткой стеклянной ткани специальными нагревостойкими и влагостойкими масляно-глифталевоасфальтовыми лаками. Выпускается ла-

Таблица 2-6

Марки и толщины черной лакоткани

Марка	Характеристика	Толщина, *мм*			
ЛХЧ-1	Нормальная с повышенными диэлектрическими свойствами	0,17	0,20	0,24	—
ЛХЧ-2	Нормальная	0,17	0,20	0,24	0,30
ЛХЧ-3	Нормальная на шифоне	—	0,20	0,24	0,30

Таблица 2-7

Марки и толщины хлопчатобумажной и шелковой лакоткани (по ГОСТ 2214-46)

Марка	Характеристика	Толщина, *мм*						
ЛХ-1	Нормальная с повышенными диэлектрическими свойствами	—	0,15	—	0,17	0,2	0,24	—
ЛХ-2	Нормальная	—	0,15	—	0,17	0,2	0,24	0,3
ЛХМ	Маслостойкая	—	0,17	—	0,17	0,2	0,24	—
ЛХС	Специальная	—	—	—	—	—	—	—
ЛШ-1	Нормальная с повышенными диэлектрическими свойствами	—	0,1; 0,15	—	—	—	—	—
ЛШ-2	Нормальная	0,08	0,1; 0,15	—	—	—	—	—
ЛШС-1	Специальная с повышенными диэлектрическими свойствами	—	0,12	—	—	—	—	—
ЛШС-2	Специальная	—	0,12	—	—	—	—	—
ЛШС	Специальная тонкая	0,04	0,05	0,06	—	—	—	—

коткань рулонами шириной от 600 до 1 000 *мм* и толщиной 0,11; 0,12; 0,13; 0,15; 0,20 *мм*. Может длительно работать при температурах до 125—150° С.

Стеклолакоткань кремнийорганическая с рабочей температурой до 180° С (марки ЛСК-1 — жесткая, ЛСК-2— мягкая, ЛСК-7) получается пропиткой стеклянной ткани ЭСТБ (бесщелочное стекло) в кремнийорганических лаках. Выпускается толщиной 0,11; 0,12; 0,15; 0,20 *мм*, ширина рулона 200—700 *мм*.

Лакоткань следует хранить при температуре 10—30° С.

2-4. ЭЛЕКТРОКАРТОН. ПЛЕНКОЭЛЕКТРОКАРТОН

Картон электроизоляционный (электропрессшпан) марки ЭВ выпускается толщиной 0,1; 0,15; 0,20; 0,30; 0,40; 0,50; 1,0; 1,25 *мм*. Более прочный прессованный электрокартон марки ЭВП имеет толщину 0,1; 0,15; 0,20; 0,25; 0,30.

Наибольшей механической прочностью обладает картон марки ЭВТ («литероид», из тряпичной массы), имеющий следующие толщины: 0,1; 0,15; 0,20; 0,25; 0,30; 0,35; 0,40.

Пленкокартон представляет собой материал, состоящий из электрокартона ЭВП толщиной 0,2; 0,3; 0,4 *мм*, склеенного с триацетатной пленкой толщиной 0,07 *мм*. Выпускается также двусторонний пленкоэлектрокартон толщиной 0,5 *мм*, состоящий из двух слоев электрокартона, между которыми находится триацетатная пленка. Пленкоэлектрокартон является хорошим материалом для изоляции паза машин с рабочим напряжением до 500 *в*.

Лакобумага, т. е. бумага, пропитанная бакелитовым лаком, толщиной 0,030—0,12 *мм* применяется для изоляции (обкатки, опрессовки) роторных стержней, штырей щеткодержателей и подобных деталей.

2-5. ЛЕНТЫ

Хлопчатобумажные ленты (киперная, тафтяная, миткалевая, батистовая), асбестовая и стеклянная ленты в пропитанном виде применяются в качестве изолирующих и защитных покрытий для изоляции обмоток и деталей.

В непропитанном виде киперная и тафтяная ленты могут применяться в качестве временных покрытий при компаундировании обмоток.

Размеры лент указаны в табл. 2-8.

Весьма удобным материалом при ремонте лобовых частей и соединений является нагревостойкая и влагостойкая

Таблица 2-8

Размеры лент

Лента	Толщина, *мм*	Ширина, *мм*									
Киперная . . .	0,45	10	12	15	20	25	30	35	40	50	60
Тафтяная . .	0,25	10	12	15	20	25	30	35	40	50	60
Миткалевая .	0,22	—	12	16	20	25	30	35	—	—	—
Батистовая . .	0,12; 0,16; 0,18	10*	12	16	20	—	—	—	—	—	—
Стеклянная . .	0,12; 0,15; 0,2	10	—	16	20	25	—	—	—	—	—
Асбестовая . .	0,4	—	—	—	20	25	—	—	—	—	—
	0,5	—	—	—	—	25	30	—	—	—	—

* Только для толщины 0,12 *мм*.

липкая изоляционная стеклолента (толщина 0,12; 0,15 *мм*, ширина 10; 15; 20; 25 *мм*), при помощи которой может быть легко выполнена изоляция отдельных участков обмотки взамен поврежденной.

2-6. МИКАНИТЫ

Миканиты — изоляционные материалы, основой которых является слюда, обладают весьма высокими изоляционными свойствами: нагревостойкостью, влагостойкостью, электрической прочностью.

Ввиду дефицитности и высокой стоимости миканитов применять их следует для наиболее ответственных машин в том случае, когда применение изоляционных материалов класса А (лакоткань) недопустимо.

Миканит клеится из листочков слюды двух сортов: мусковита и флогопита, в соответствии с чем в обозначении миканита ставится вторая буква (М или Ф).

В том случае, когда для клейки идет слюда обоих сортов, в обозначении ставится буква С (смесь).

Мусковит имеет несколько лучшие изоляционные качества. Флогопит более нагревостоек.

Ручная клейка производится на стеклянных листах, освещаемых снизу лампой. Просвечивание при клейке позволяет контролировать толщину и правильно распределять слюдяные листки. Если клейка производится на подкладке из бумаги или ткани, то первой на стекло кладется подкладка и промазывается клеящим лаком, на нее кладется первый слой листков слюды с заданным перекрытием, но во всяком случае так, чтобы не получилось щелей и просветов между листками или скручивания листов. Затем следуют промазка и укладка нового слоя и т. д. Если клеится миканит без подкладки, то на стекло кладется парафинированная телефонная бумага. На нее укладывается

слой слюды и т. д. После клейки телефонная бумага может быть удалена.

Различают твердые, гибкие и формовочные миканиты.

Твердые миканиты применяются для прокладок и изоляции между пластинами коллекторов.

Этот последний, так называемый коллекторный миканит должен содержать минимальное количество клеящего лака, чтобы с течением времени не давать усадку по толщине, поэтому при клейке этого миканита лак наносится стряхиванием его с кисти в виде капель. После клейки и подсушки миканит прессуется с подогревом и затем для получения точного размера по толщине фрезеруется. Коллекторный миканит обозначается буквами КФ и КФ-1 (с пониженной усадкой) и выпускается толщиной 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8 (0,85); 0,9; 1,0; (1,05); 1,10; (1,15); 1,20; 1,30; 1,40; 1,50 *мм* с допуском ±0,07 *мм* для миканита толщиной 0,4—0,6 *мм* и ±0,08 *мм* для миканита толщиной 0,7—1,5 *мм*.

Обозначения и толщины прокладочного (твердого) миканита приведены в табл. 2-9.

Таблица 2-9

Миканит прокладочный

Обозначения		Толщина, *мм*
ПС-1, ПМ-1, ПФ-1	прессованный и калиброванный по толщине	0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1; 1,5; 2
ПС-2, ПМ-2, ПФ-2	прессованный	0,5; 0,6: 0,7; 0,8; 0,9; 1 1,5; 2; 2,5; 3; 4; 5

К обозначениям, указанным в табл. 2-9, может добавляться буква А (например, ПМ-1А), что означает пониженное (5—15% против 15—25% без буквы А) содержание связующего вещества (лака).

Гибкий миканит применяется для изоляции пазовой части секций, изоляции паза, обмоткодержателей и т. д. и представляет собой листовой материал, клееный из листочков слюды, выпускаемый в листах.

В качестве клеящих лаков применяются лаки пластифицированные, сохраняющие гибкость при нормальной температуре и при хранении до 2 мес.

Различают гибкий миканит с обклейкой с двух сторон тонкой бумагой и без нее.

Обозначения и толщины гибкого миканита см. в табл. 2-10.

Таблица 2-10

Обозначения и толщина гибкого миканита

Обозначения	Толщина, *мм*			
ГМО, ГФО — оклеенный	0,20	0,25	0,30 0,50	0,35 0,40
ГМ-2, ГФ-2 — прессованный	0,15	0,20	0,25	0,30
ГМ-3, ГФ-3 — непрессованный	0,35	0,40	0,45	0,50

Разновидностью гибкого миканита является микалента, применяемая для изоляции проводников и обмоток. Она представляет собой материал, склеенный из листочков слюды и обклеенный с двух сторон специальной тонкой бумагой. В качестве клеящих лаков применяются асфальтомасляные лаки (черные) и масляно-глифталевые (светлые). Лента выпускается шириной 12; 15; 20; 25; 30 и 35 *мм*. Обозначения и толщины ее см. в табл. 2-11.

Таблица 2-11

Обозначения и толщина микаленты

Обозначения	Характеристика	Толщина, *мм*
ЛМЧ-1 ЛФЧ-1	Микалента, клеенная на масляно-битумном (черном) лаке с повышенной электрической прочностью (I)	0,08; 0,1
ЛМЧ-11 ЛФЧ-11	То же с нормальной электрической прочностью (II)	0,08; 0,1 0,13; 0,17
ЛМС-1 ЛФС-1	Микалента, клеенная на масляно-глифталевом (светлом) лаке, с повышенной электрической прочностью	0,08; 0,1 0,13;
ЛМС-11 ЛФС-11	То же с нормальной электрической прочностью	0,08; 0,1 0,13; 0,17

Микалента толщиной 0,08 и 0,1 *мм* имеет обклейку только с одной стороны. Микалента должна храниться в герметически запаянных банках при температуре 10—35° С.

Разновидностью гибкого миканита является также микашелк, в котором подложкой с одной стороны служит шелковая ткань, а с другой — бумага (обозначения — ЛЧМШБ, ЛСМШБ, ЛЧФШБ, ЛСФШБ). Микашелк, кроме высокой электрической прочности, обладает также высокой механической прочностью. Выпускается в рулонах шириной от 400 до 900 *мм* и толщиной 0,14—0,17 *мм.*

Формовочный миканит, выпускаемый в листах, клееный из листочков слюды, приобретает гибкость и способность формоваться при нагреве и прессовании. Применяется для изготовления коллекторных конусов, гильз, каркасов и подобных фасонных деталей. Обозначения и толщины см. в табл. 2-12.

Таблица 2-12

Миканит формовочный

Обозначения		Толщина, *мм*
ФМ-1 ФФ-1 ФС[1]-1	прессованный и калиброванный по толщине	0,4; 0,45; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8 0,9; 1,0
ФМ-2 ФФ-2 ФС-2[1]	прессованный	0,1; 0,15; 0,2; 0,25; 0,3; 0,35; 0,40; 0,45; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1,0; 1,5; 2,3

[1] С обозначает смесь из мусковита и флогопита. Толщина ФС-2 > 0,2 *мм.*

К обозначениям, указанным в табл. 2-12, может добавляться буква А (например, ФА-1А), что обозначает пониженное (8—15% против 15—25% без буквы А) содержание связующего.

Разновидностью формовочного миканита является микафолий (или микабумага), представляющий собой листочки слюды, склеенные лаком и обклееные с одной стороны телефонной бумагой толщиной 0,05 *мм.* Он изготовляется в рулонах и листах, приобретает гибкость в нагретом состоянии и применяется для изоляции пазовой части стержней и секций, изготовления гильз и т. д.

Микафолий обозначается тремя буквами, например МФШ. Первая буква М — микафолий, вторая буква М (мусковит) или Ф (флогопит) обозначает сорт слюды. Третья буква характеризует лак: Г — глифталевый, М — масляноглифталевый, Ш — шеллачный. Выпускается толщиной 0,15; 0,20; 0,30 *мм* в рулонах шириной 400 *мм.* Хранить микафолий (формовочный миканит) следует в закрытом сухом помещении при температуре 10—35° С.

Листы миканита рекомендуется при хранении прокладывать бумагой и обертывать парафинированной бумагой или другим влагостойким материалом.

В состав указанных выше слюдяных материалов, принадлежащих к классу В, входят различные материалы (хлопчатобумажные и шелковые ткани, бумага) класса А.

Замена этих материалов стеклянной тканью и применение нагревостойких лаков позволяют получить нагревостойкие стеклослюдяные материалы, относящиеся к классу Н (на слюде флогопит). К их числу относятся:

коллекторный миканит КФА с фосфорнокислым аммонием (аммофосом) в качестве связующего и клееный на кремнийорганических лаках;

прокладочный миканит ПФ2КА толщиной 0,5—5 *мм*;

гибкий миканит ГФК толщиной 0,2—0,5 *мм*;

стекломиканит С2ГФК-I и С2ГФК-II толщиной 0,2—0,5, 0,6 *мм*.

стекломикалента специальная (один слой слюды флогопит и стеклоткань с одной или двух сторон) СЛIФК-I толщиной 0,13; 0,15 *мм* и ЛС2ФК толщиной 0,17; 0,22 *мм*;

стекломикафолий толщиной 0,2; 0,3 *мм*;

формовочный миканит ФМ2К и ФМ2КА толщиной 0,15—0,50 *мм*.

Следует упомянуть также о новом изоляционном материале — *слюдинитовой бумаге,* получаемой из раствора молотой слюды при помощи технологического процесса, аналогичного процессу изготовления обычной бумаги. В этом случае исключается клейка листков слюды, что дает ряд существенных преимуществ.

Слюдинит изготовляется в виде коллекторного (толщиной 0,4—1,5 *мм*) и прокладочного (толщиной 0,5—2 *мм*) слюдинита, а в сочетании со стеклотканью и бумагой — в виде формовочного (толщиной 0,1—0,3 *мм*) и гибкого стеклослюдинита (толщиной 0,1—0,5 *мм*) и гибкого слюдинита (толщиной 0,15—0,5). Следует ожидать широкого применения этого материала в электромашиностроении.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

РЕМОНТ СТАТОРНЫХ ОБМОТОК МАШИН ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

3-1. ОБМОТКИ МАШИН ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Обмотка любой электрической машины получается соединением вложенных в пазы стали статора или ротора проводников в отдельные витки и соединения этих витков между собой.

Обычно витки, лежащие вместе в двух пазах и соединенные последовательно, образуют катушку-секцию, а эти последние соединяются, образуя обмотку.

Необходимое общее число витков обмотки определяется рабочим напряжением машины, а площадь сечения проводников — током.

Что же касается схемы соединения проводников обмотки, то эти схемы строятся так, чтобы при протекании по обмотке тока в ней образовывалось нужное число пар полюсов.

Для двигателей переменного тока (асинхронных и синхронных) число пар полюсов определяет скорость вращения, т. е. число оборотов в минуту. Оно определяется из следующей зависимости:

$$n_c = \frac{60f}{p} \quad \text{или}$$

$$\text{скорость вращения} = \frac{60 \times \text{частота тока в питающей сети } (\textit{пер/сек})}{\text{число пар полюсов}}.$$

Для генераторов при заданной скорости вращения число пар полюсов определяет частоту тока (измеряется числом периодов в секунду), вырабатываемую генератором:

$$\text{частота тока} = \frac{\text{число пар полюсов} \times \textit{об/мин}}{60} \ (\textit{пер/сек})$$

Для принятой в СССР частоты промышленных сетей — 50 *пер/сек* получим следующее выражение:

$$\text{скорость вращения} = \frac{3\,000}{\text{число пар полюсов}} (\textit{об/мин})$$

$$\text{число пар полюсов} = \frac{3\,000}{\textit{об/мин}}.$$

У асинхронных двигателей приведенное выше выражение определяет «синхронную» скорость вращения, которую двигатель развивает без нагрузки.

При нагрузке скорость вращения незначительно замедляется, появляется так называемое «скольжение».

Скольжение представляет собой разность между синхронным и действительным числом оборотов ротора в минуту, разделенную на синхронное число оборотов в минуту:

$$s = \frac{\text{синхронное число оборотов в минуту} - \text{число оборотов ротора в минуту}}{\text{синхронное число оборотов в минуту}}$$

Величина скольжения при номинальной нагрузке для обычных асинхронных двигателей колеблется в пределах

2—3%, для асинхронных двигателей с повышенным скольжением она может достигать 10% и более при номинальной нагрузке.

Для того чтобы синхронный генератор мог работать, число пар полюсов индуктора и рабочей обмотки[1] должно быть одинаковым; то же относится к асинхронному двигателю с фазным ротором, у которого обмотки статора и ротора должны иметь одинаковое число пар полюсов.

Короткозамкнутый ротор асинхронного двигателя может работать при различном числе полюсов статорной обмотки.

Для того чтобы в обмотке образовалось требуемое число пар полюсов p, необходимо соединить проводники в витки-катушки (секции) и катушки между собой так, чтобы были выдержаны определенные расстояния — «шаги» между сторонами (проводниками) витка-катушки и между самими катушками или их группами.

3-2. ШАГ ВИТКА

Шаг витка должен быть равен полюсному делению (диаметральный шаг) или несколько меньше его (укороченный шаг).

Полюсное деление τ выражается числом пазов (или зубцов), приходящихся на полюс:

$$\tau = \frac{Z}{2p},$$

где Z — общее число пазов статора (или ротора);

$$\text{полюсное деление} = \frac{\text{число пазов}}{\text{число полюсов}}.$$

Шаг витка y также выражается числом пазов, лежащих между проводниками, образующими стороны витка.

Шаг витка должен быть близок к полюсному делению.

Если, например, нужно обмотать статор (ротор), имеющий 48 пазов, так, чтобы получить четырехполюсную обмотку, то полюсное деление будет равно:

$$\tau = \frac{48}{4} = 12 \text{ пазам.}$$

---

[1] Рабочей (якорной) обмоткой генератора может быть как статорная, так и роторная. В последнем случае вырабатываемый ток подается через контактные кольца и щетки.

Шаг катушек, следовательно, может быть взят равным 12 пазам или несколько меньше, например 10 пазам.

В первом случае стороны катушки расположатся в пазах 1 и $1+12=13$, во втором случае — в пазах 1 и $1+10=11$.

В первом случае будем иметь обмотку с диаметральным шагом катушек, во втором случае — обмотку с укороченным шагом, равным 10/12, или 83% диаметрального.

Укорочение составит, следовательно, 17% диаметрального шага.

Укорочение шага, кроме экономии меди в лобовой части обмотки, т. е. в части, где производится соединение между проводниками, лежащими в пазах, улучшает электрические свойства машины и широко применяется главным образом в двухслойных обмотках.

Однослойные (катушечные) обмотки выполняются обычно с диаметральным шагом катушек.

Укорочение шага берется обычно в пределах до 33% диаметрального шага (полюсного деления).

Большое укорочение приводит к уменьшению э. д. с. витка, так как уменьшаются площадь его и, следовательно, магнитный поток, им охватываемый.

В результате ухудшается использование меди обмотки (уменьшается так называемый «обмоточный коэффициент»).

Таким образом, *шаг витка может быть выбран в пределах от одного полюсного деления до двух третей его,* что выражается формулой

$$y=(1 \div 0{,}67)\tau=(1 \div 0{,}67)\frac{Z}{2p}.$$

Однако знание величины шага витков еще не определяет полностью схемы обмотки. Для ее составления необходимо выяснить количество пазов, приходящееся на полюс и фазу, и тем самым количество катушек данной фазы, приходящееся на одну пару полюсов и образующее *полюсную группу.*

Далее, должно быть намечено соединение между полюсными группами, число которых соответствует числу пар полюсов обмотки.

Таким образом, должно быть известно число фаз, которое должна иметь обмотка. Обычно приходится иметь дело с трехфазными обмотками.

3-3. ТРЕХФАЗНАЯ ОБМОТКА

Трехфазная обмотка машины разделяется на три одинаковые части — фазы, каждой из которых принадлежит $^1/_3$ всех проводников и пазов статора или ротора. Проводники и катушки, принадлежащие отдельным фазам, должны быть сдвинуты на угол 120 электрических градусов. Следует помнить, что 360 электрических градусов соответствуют двум полюсным делениям, поэтому сдвиг на 120 электрических градусов соответствует сдвигу на $^1/_3$ расстояния, соответствующего одной паре полюсов. Например, если на пару полюсов приходится 24 паза, то начало обмоток фаз должны быть сдвинуты на $^{24}/_3=8$ пазов, и, следовательно, если обмотка первой фазы начинается в пазу *1*, то обмотка второй фазы начинается в пазу *9*, а обмотка третьей фазы — в пазу *17*.

Катушки, принадлежащие одной фазе, при соединении образуют обмотку фазы, имеющую в общем случае два вывода — начало и конец фазы.

Поскольку все фазы одинаковы, достаточно выяснить способ соединений катушек одной из фаз.

3-4. ЧИСЛО ПАЗОВ НА ПОЛЮС — ФАЗУ; ПОЛЮСНАЯ ГРУППА

Одной из основных величин, определяющих выполнение обмотки, является число пазов, приходящееся на один полюс и на одну фазу, обозначаемое q. Эту величину легко определить, если известно число пазов статора, число полюсов и число фаз.

Число пазов на полюс и фазу

$$q=\frac{Z}{2p\cdot m}\left(\frac{\text{число пазов}}{\text{число полюсов}\cdot\text{число фаз}}\right).$$

Эта величина колеблется в пределах 1—6 и может быть дробной. Нетрудно видеть, что число пазов на полюс и фазу определяет число катушек-секций, образующих полюсную группу.

Обращаясь к взятому выше примеру $Z=48$; $2p=4$ и полагая обмотку трехфазной ($m=3$), получим:

$$q=\frac{48}{4\cdot 3}=4.$$

Если выбрать обмотку с диаметральным шагом катушек $y=\tau=\frac{48}{4}=12$, то одной фазе на первой паре полюсов будут принадлежать пазы *1*, *2*, *3*, *4* и *13*, *14*, *15*, *16*.

Так как обмотка должна быть симметричной, т. е. все пары полюсов должны быть одинаковыми, следующую группу катушек, образующих вторую пару полюсов, следует расположить со сдвигом относительно первой на 2τ (двойное полюсное деление), в данном примере на 24 паза.

Вторая группа катушек расположится, следовательно, в пазах *25*, *26*, *27*, *28* и *37*, *38*, *39*, *40*.

Если в обмотке больше чем две пары полюсов, то каждая следующая группа катушек укладывается с тем же сдвигом 2τ. Сказанное выше позволяет разметить пазы, принадлежащие данной фазе.

Что же касается соединения проводников, лежащих в этих пазах, в катушки и соединения катушек в группы, то здесь может быть применено три различных способа, электрически совершенно равноценных и влияющих лишь на конструкцию катушек. Этот вопрос рассматривается ниже на примере, позволяющем выяснить, как подбираются полюсная группа катушек и расстояние (сдвиг) между группами.

В примере, приведенном выше, первой фазе принадлежат проводники, лежащие в пазах *1*, *2*, *3*, *4—13*, *14*, *15*, *16—25*, *26*, *27*, *28* и т. д. Соединение этих проводников в витки катушки может быть произведено тремя способами (рис. 3-1,*а*, *б* и *в*);

а) Соединением пазов *1—13*, *2—14*, *3—15*, *4—16* (рис. 3-1,*а*). Все катушки имеют при этом одинаковый размер и шаг и пересекаются в лобовой части. Такое соединение применяется в двухслойных и однослойных обмотках, у которых при этом получаются одинаковые катушки. При двухслойной обмотке соседняя группа катушек этой же фазы ляжет в пазы *13—25*, *14—26*, *15—27*, *16—28* и т. д., так что в каждом пазу окажутся две катушечные стороны: одна в нижнем, другая в верхнем слое.

б) Соединением проводников, лежащих в пазах *1—16*, *2—15*, *3—14*, *4—13* (рис. 3-1,*б*). При этом получается группа четырех расположенных одна внутри другой катушек, одна такая группа приходится на два полюса (на одну пару полюсов), лобовые части не имеют пересечений, катушки, входящие в группу, имеют разный шаг.

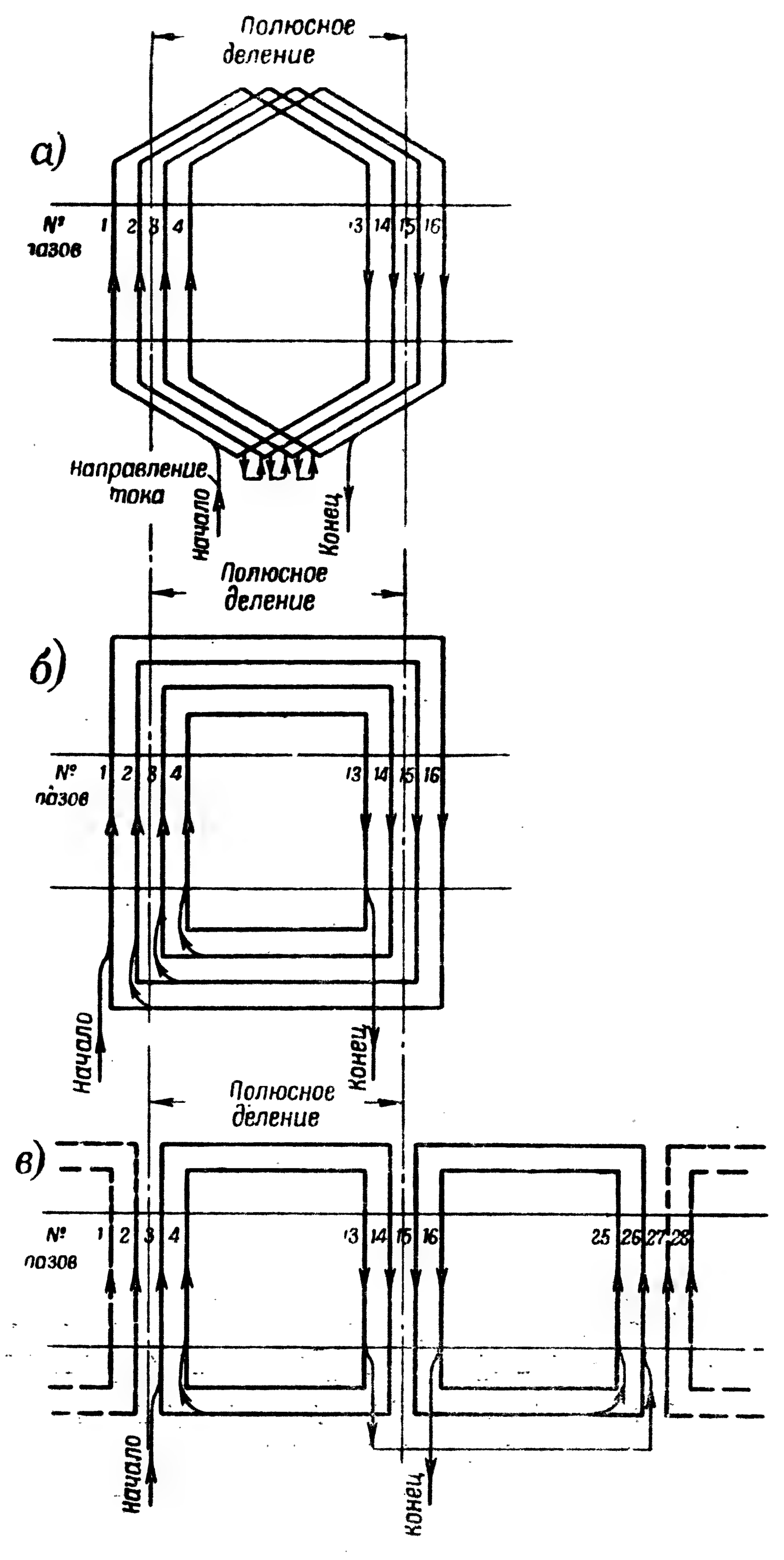


Рис. 3-1. Катушечные группы обмотки.

в) Соединением пазов *4—13*, *3-14*, затем *16—25*, *15—26* и т. д. (рис. 3-1,*в*). Получаются группы, состоящие из двух катушек, одна внутри другой. Одна такая группа приходится на каждый полюс. Это соединение отличается от соединения по рис. 3-1,*б* конструкцией лобовой части.

г) При двухслойных обмотках стороны секций (катушек) располагаются в пазу в два слоя, одна сторона в нижней части паза, другая в верхней. Таким образом, число секций двухслойной обмотки, разумеется, не зависит от расположения секций, т. е. расположены ли они в один или два слоя (см. § 3-11). На каждый полюс приходится одна полюсная группа катушек. У двухслойной обмотки с диаметральным шагом, секции которой подобны изображенной на рис. 3-1,*а*, вторая полюсная группа катушек расположится в пазах: *13*, *14*, *15*, *16—25*, *26*, *27*, *28*; третья полюсная группа — в пазах: *25*, *26*, *27*, *28—37*, *38*, *39*, *40*; четвертая полюсная группа — в пазах: *37, 38, 39, 40—1, 2, 3, 4*.

Если применяется секция с укороченным шагом, то нижний слой секционных сторон, принадлежащих к данной фазе, смещается относительно верхнего (см. рис. 3-8). Направление тока в рядом лежащих группах должно быть противоположным.

Нужно заметить, что внутренние секции на рис. 3-1,*б* имеют укороченный шаг, а наружные — удлиненный. Поэтому группа секций в целом обладает такими же свойствами, как и группа, изображенная на рис. 3-1,*а*, у которой все катушки имеют диаметральный шаг.

Укороченный шаг имеет место в том случае, если расстояние *между серединами* проводников, принадлежащих к двум сторонам групп, меньше полюсного деления.

Соединение катушек одной группы во всех трех случаях может быть только последовательным, причем должно быть соблюдено правильное направление тока во всех катушках одной группы, обеспечивающее совместное их действие. Электрические свойства полученных таким образом катушечных групп во всех трех случаях одинаковы.

Параллельное соединение катушек может быть допущено только при условии равенства э. д. с. и совпадения фазы этой э. д. с. у соединяемых катушек. Для катушек же одной группы в описанных выше трех случаях это не имеет места. Действительно, на рис. 3-1,*а* катушки имеют одинаковое число витков и одинаковые размеры, следовательно, величина э. д. с. в них одинакова. Однако они сдвинуты по отношению друг к другу в магнитном поле на один паз и,

следовательно, фаза э. д. с. всех катушек разнится на угол, соответствующий одному зубцовому делению.

На рис. 3-1,*б* и *в* катушки полюсной группы расположены по одной оси, следовательно, фазы э. д. с. в них одинаковы. Однако вследствие разного шага катушек величины

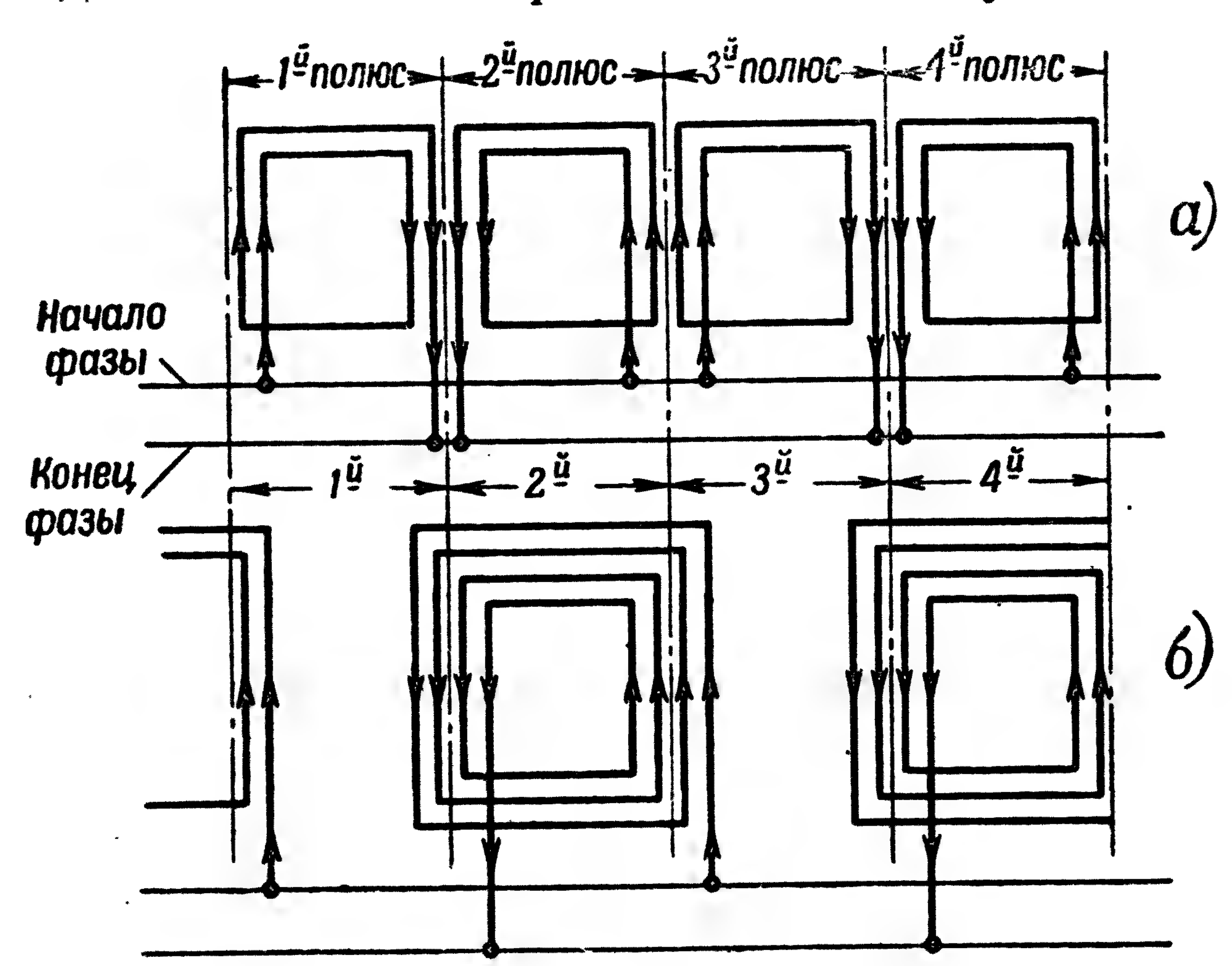


Рис. 3-2. Параллельное соединение катушечных групп.

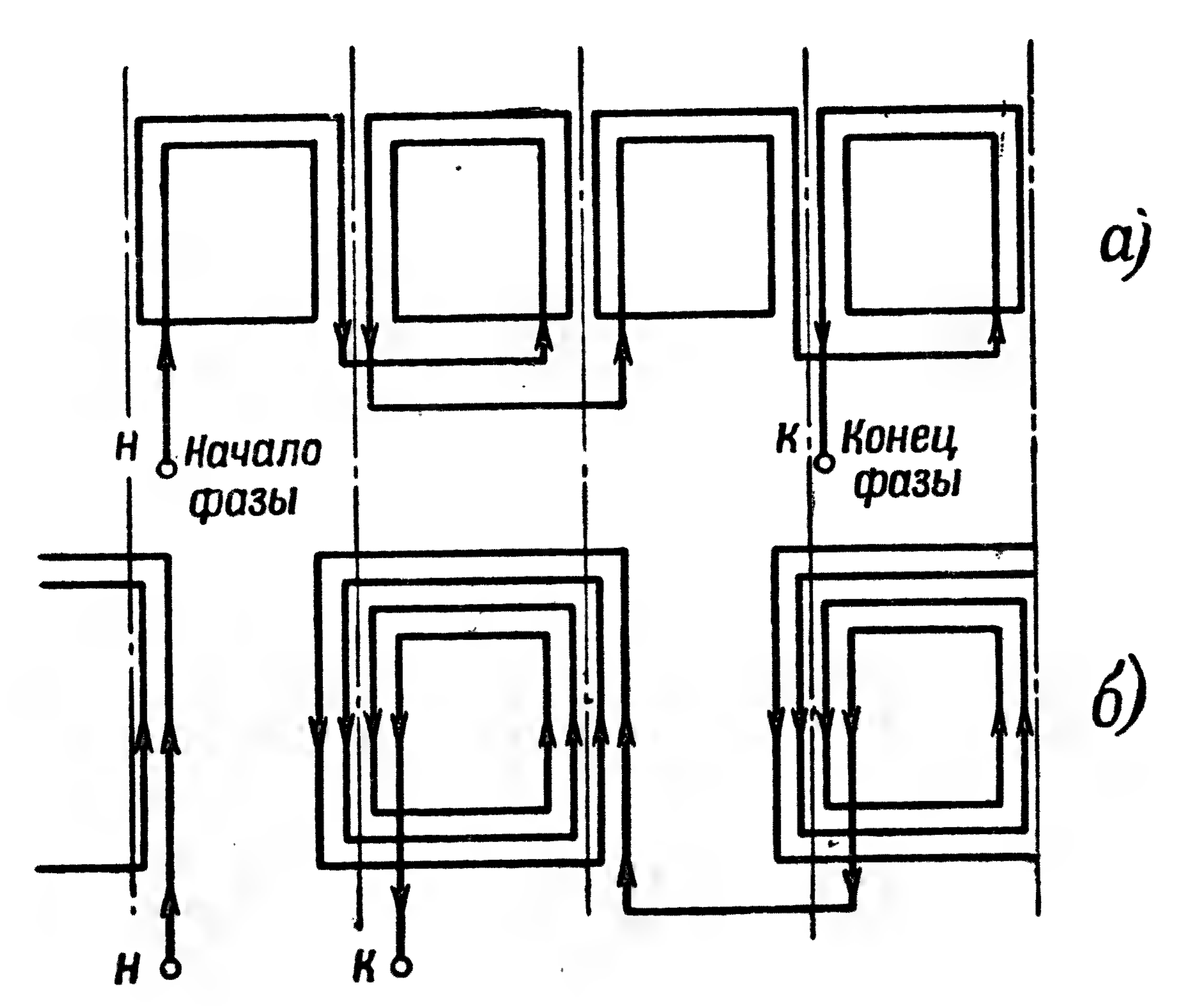


Рис. 3-3. Последовательное соединение катушечных групп.

э. д. с. в них разные. Если ошибочно допустить параллельное соединение указанных катушек, то в них появятся внутренние токи, могущие сжечь обмотку. Таким образом, в пределах полюсной группы катушки должны соединяться последовательно. Сами же полюсные группы катушек, принадлежащие одной фазе, могут соединяться и последовательно и параллельно. На рис. 3-2 показано параллельное включение рассмотренных выше полюсных групп, причем для соблюдения правильной полярности направление тока в соседних группах должно быть обратным. При параллельном соединении должны быть выполнены указанные выше правила равенства э. д. с. по величине и фазе. Это означает, что соединяемые параллельно группы катушек должны быть совершенно одинаковыми и одинаково расположены по отношению к полюсам. Это требование не всегда может быть выполнено, в особенности в обмотках с дробным числом пазов на полюс и фазу, где катушечные полюсные группы состоят из разного числа катушек. Поэтому следует чрезвычайно внимательно подходить к выполнению параллельных соединений в обмотках, в особенности при всякого рода перемотках при ремонте.

Последовательное соединение катушечных групп допустимо во всех случаях (рис. 3-3,*а* и *б*).

3-5. ОБМОТКИ С ДРОБНЫМ ЧИСЛОМ ПАЗОВ НА ПОЛЮС—ФАЗУ

Обмотки с дробным числом пазов на полюс — фазу представляют значительный интерес при модернизации машин, так как дают возможность использовать имеющийся статор для различного числа пар полюсов. В этих обмотках на каждую фазу приходится равное целое число пазов, которое, однако, не делится на число полюсов.

Поэтому число пазов, относящееся к данной фазе, распределяется по полюсам не поровну, и фаза имеет разное (чередующееся) число катушек по полюсам.

Например, для обмотки с числом пазов $Z=36$, числом пар полюсов $p=4$, числом фаз $m=3$

$$q=\frac{Z}{2p\cdot m}=\frac{36}{2\cdot 4\cdot 3}=\frac{36}{24}=1\frac{1}{2}.$$

У такой обмотки число катушек под соседними полюсами будет чередоваться следующим образом: 1—2—1—2 и т. д.

Дробная обмотка с симметричными фазами выполнима при определенных соотношениях между числом пазов Z, числом пар полюсов p и числом фаз m.

Если Z и p имеют наибольший общий делитель t, то симметричная дробная обмотка выполнима, при условии, что $\frac{Z}{t \cdot m}$ равно целому числу.

3-6. КОНСТРУКЦИЯ ОБМОТОК

Приведенные выше правила дают возможность не только разобраться в схеме старой, подлежащей ремонту обмотки, но и составить новую схему.

Для лучшего их усвоения следует детально рассмотреть типичные схемы обмоток, приводимые на рис. 3-4—3-14, проверив шаги катушек, расстояние между группами катушек и т. д.

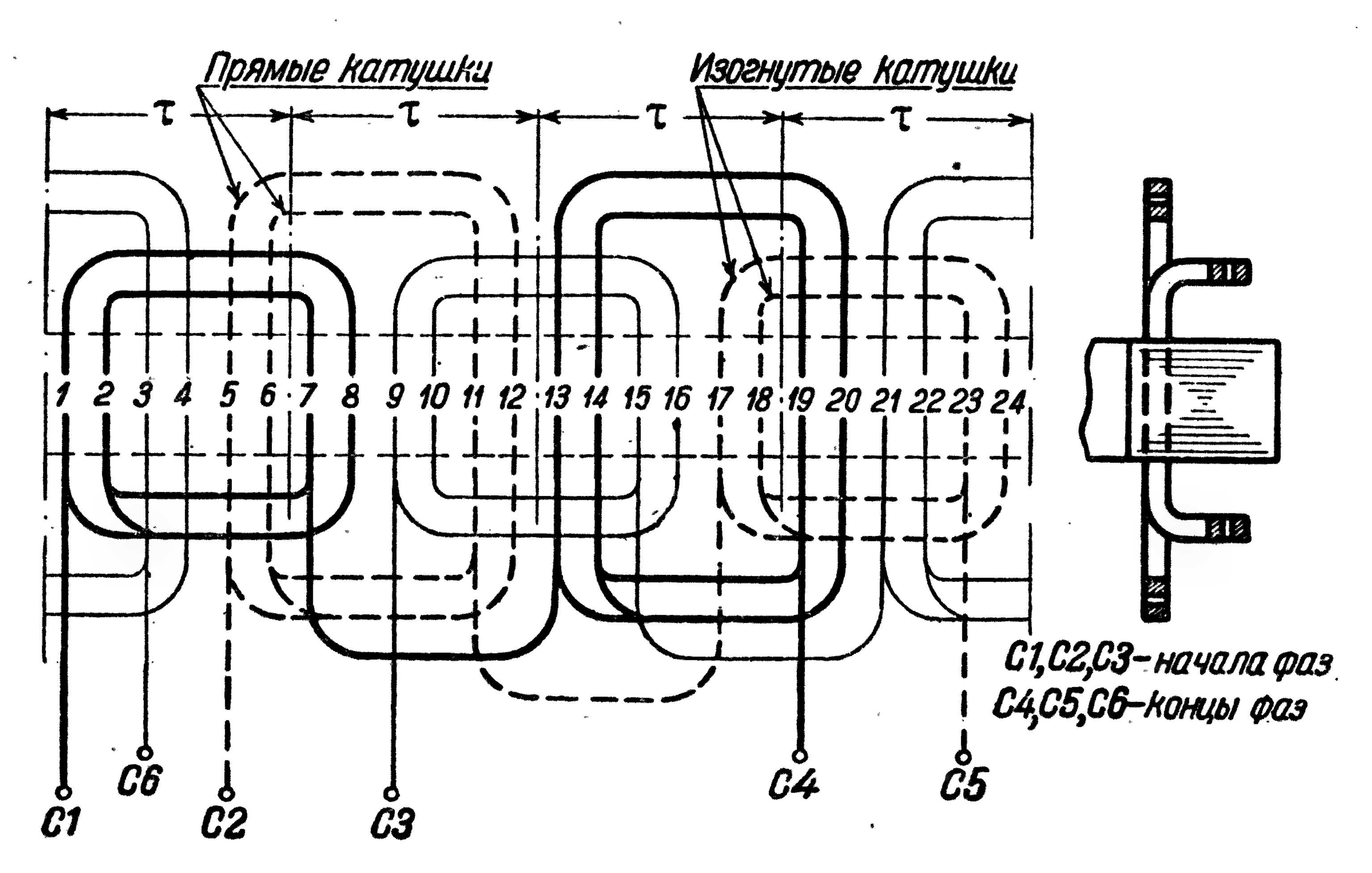


Рис. 3-4. Схема катушечной (концентрической) однослойной обмотки.

По конструктивному выполнению различают следующие типы обмоток:

Однослойные обмотки с расположением катушек одна внутри другой («концентрическое» расположение). Лобовые части катушек могут располагаться в двух (рис. 3-4) и трех плоскостях. При двухплоскостном расположении катушки делятся на нижние («изогнутые») и верхние («прямые»). Двухплоскостное расположение имеет место при одинарном числе групп по рис. 3-1,*б*. Трехплоскостное расположение имеет место при двойном числе групп по рис. 3-1,*в*. С точки зрения ремонта двухплоскостное рас-

положение более удобно, так как для замены нижней катушки при трехплоскостном расположении надо предварительно размотать большое число катушек.

Однослойная обмотка с одинаковыми группами катушек — «цепная» — показана на рис. 3-5.

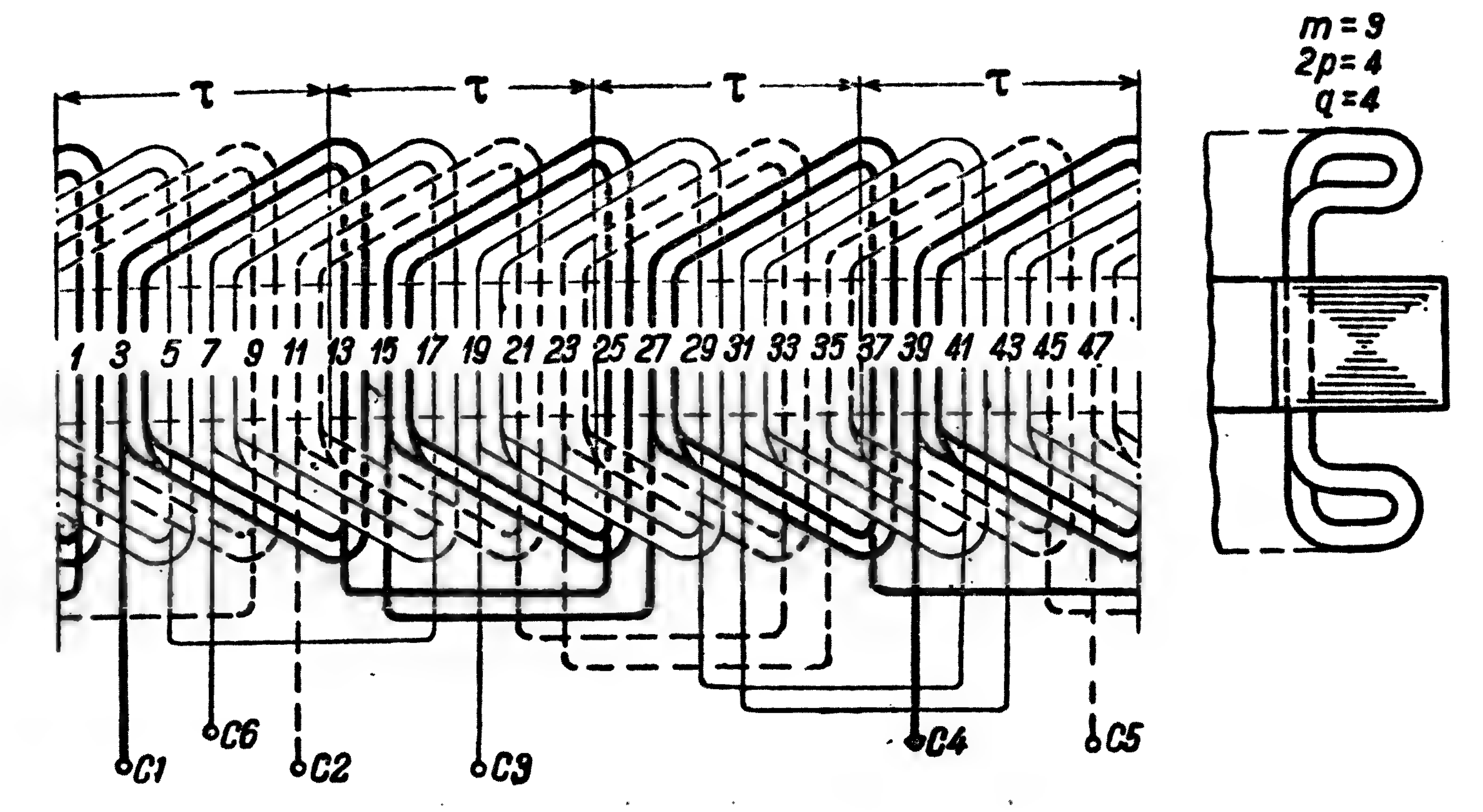


Рис. 3-5. Схема „цепной" однослойной обмотки.

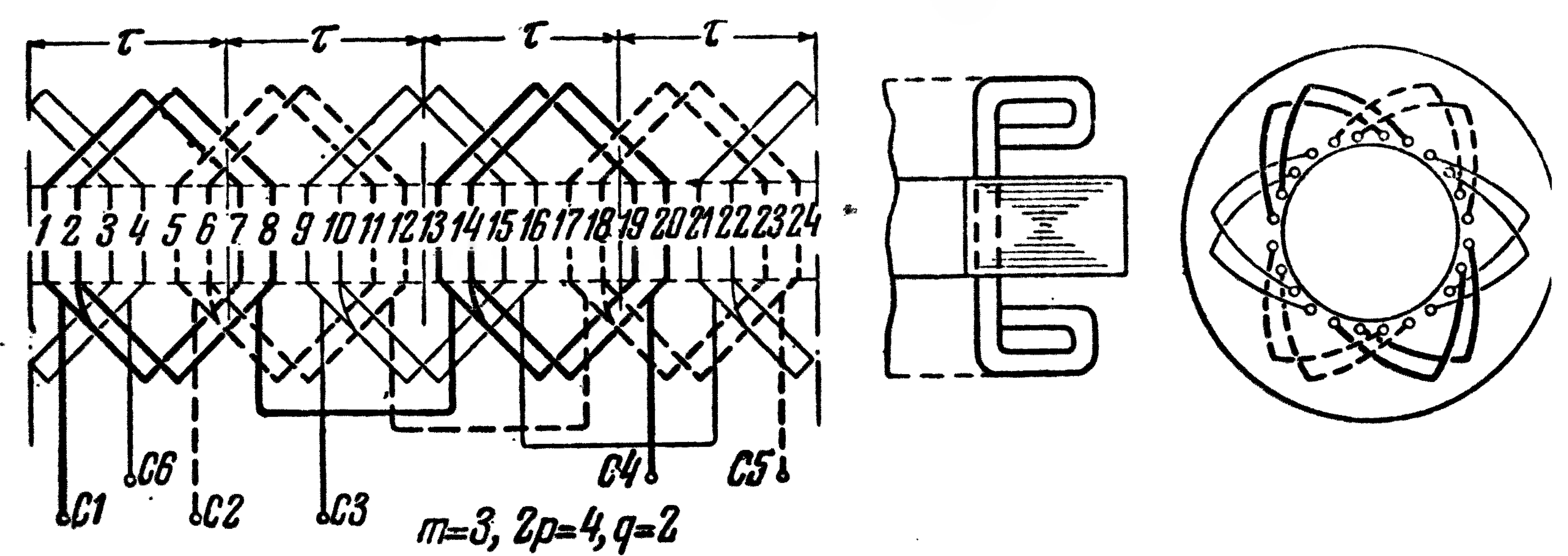


Рис. 3-6. Схема однослойной обмотки с одинаковыми катушками.

Однослойная обмотка с катушками одинакового размера и формы изображена на рис. 3-6. Обмотка имеет диаметральный шаг.

Двухслойная обмотка состоит из секций, заложенных одной стороной в верхнюю половину, а другой стороной — в нижнюю половину пазов, расположенных по шагу секций. Обмотка с диаметральным шагом секций изображена на рис. 3-7, из которого видно, что в каждом пазу лежат проводники, принадлежащие только одной фазе. Если обмотка имеет укороченный шаг секций, то нижний слой секционных сторон как бы сдвигается относительно верхнего

(рис. 3-8) и в части пазов оказываются проводники (секционные стороны), принадлежащие разным фазам. Все секции обмотки одинаковы, что представляет значительные удобства при ремонте и изготовлении.

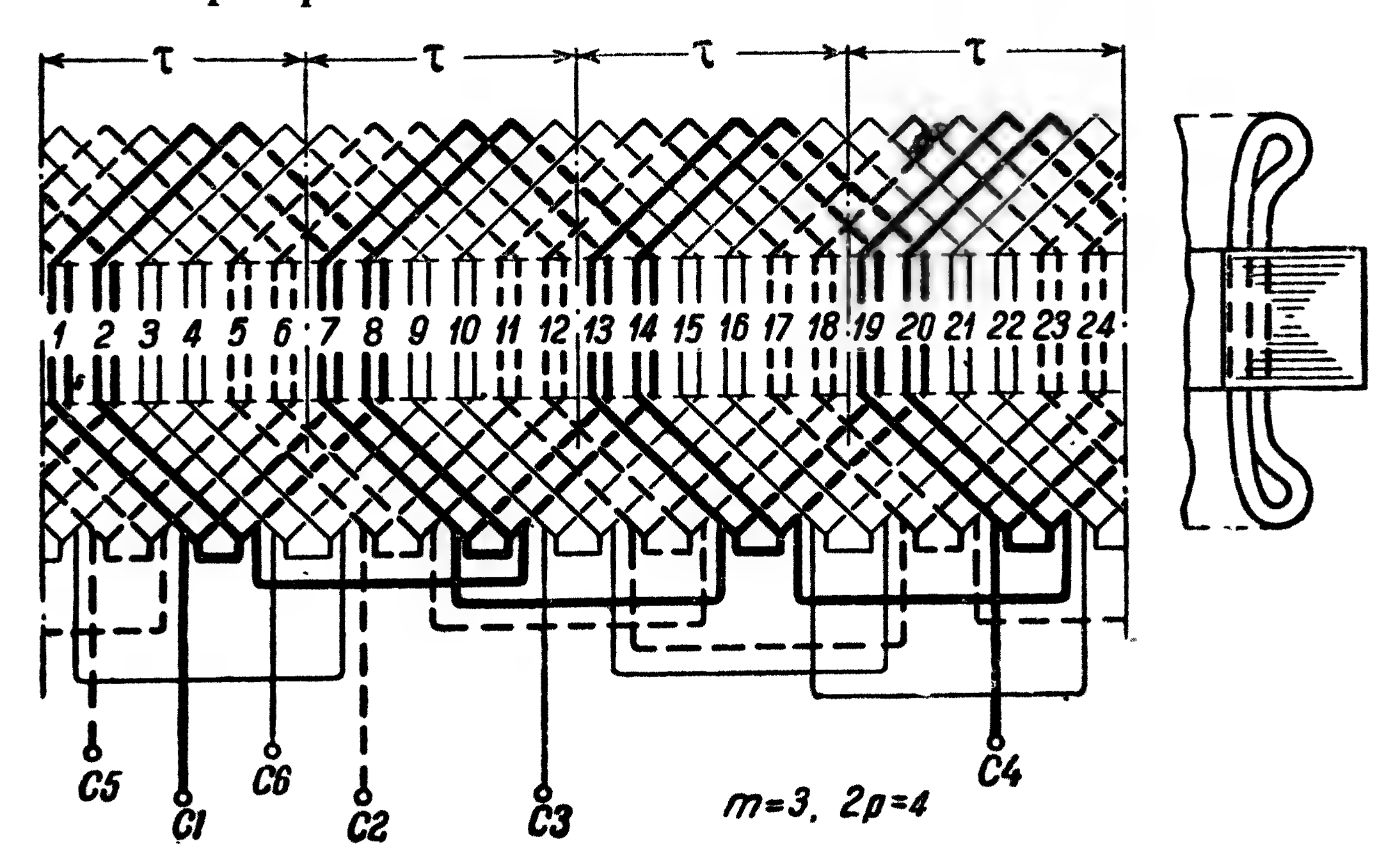


Рис. 3-7. Схема двухслойной обмотки.

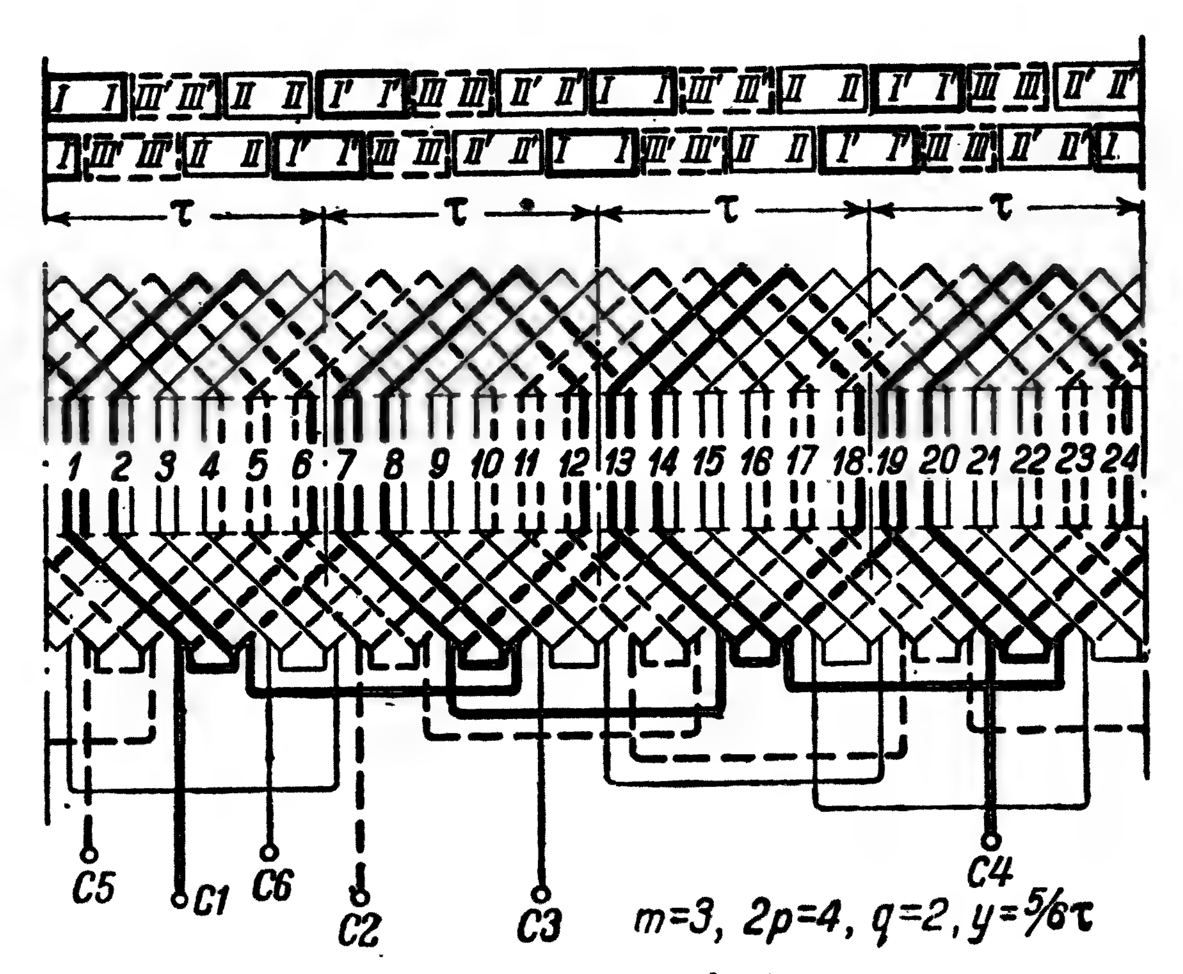


Рис. 3-8. Схема двухслойной обмотки с укороченным шагом.

Двухслойная волновая обмотка (шинная, стержневая) широко применяется для роторов асинхронных двигателей.

Особенностью обмотки является малое число проводников в пазу (два проводника-стержня). Обмотка состоит из волн с диаметральным шагом секций (рис. 3-9). Если ротор имеет q пазов на полюс и фазу, то получаются две группы на фазу из q рядом лежащих волн каждая. Две группы имеют место потому, что обмотка двухслойная и каждая группа при своем обходе вокруг ротора занимает только половину стержней в пазах. Так как при диаметральном шаге каждая волна может замкнуться на себя,

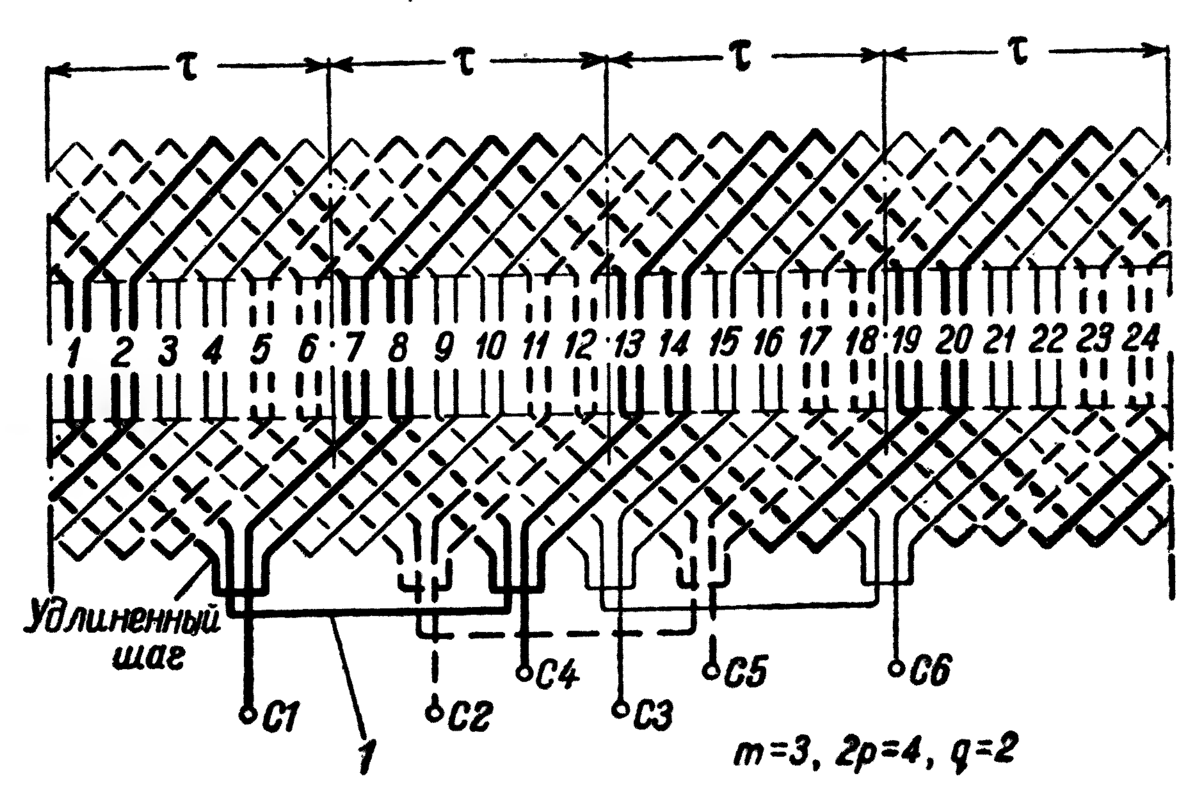


Рис. 3-9. Схема стержневой обмотки ротора.
1 — соединительная дуга.

то для перехода от одной волны к рядом лежащей (для последовательного их включения) в одном месте делается измененный (удлиненный или укороченный) шаг. Для последовательного соединения двух групп волн делается специальное соединение, так называемая соединительная дуга (называется также «переходная скоба»). На каждую фазу обмотки приходится одно такое соединение. Две группы волн могут быть соединены и параллельно. В этом случае соединительная дуга не имеет места. Выводные концы двух групп соединяются шинами. Соединение между стержнями делается с помощью хомутиков, припаянных к головкам стержней, которым придается соответствующий выгиб в лобовой части. Таким путем обеспечивается нормальный и удлиненный (или укороченный) шаг. Достоинством обмотки является большая механическая прочность, недостатком — большое количество паек. Таблица для составления схем (с укороченным переходным шагом) приведена в приложении 2.

3-7. СОСТАВЛЕНИЕ СХЕМЫ ОБМОТОК

На электромашиностроительных заводах («Электросила», «Динамо») приняты упрощенные универсальные схемы, пользуясь которыми, можно составить любую схему трехфазной обмотки с целым числом пазов на полюс и фазу для заданного числа пар полюсов p и заданного числа пазов Z. Для составления схемы необходимо определить число пазов q на полюс и фазу (для трехфазной обмотки $q=\frac{Z}{3\cdot 2p}$) и шаг катушек Y. Как указывалось, шаг выбирают в пределах от целого полюсного деления (диаметральный шаг) до двух третей его (укороченный шаг). Весьма употребительным является шаг около 80% (5/6, 7/9, 10/12 и т. д.) полюсного деления.

Универсальные схемы двухслойных обмоток приведены на рис. 3-10. Пунктирные линии изображают катушечные группы из q катушек, а квадратики — начала и концы (выводы) катушечных групп трех фаз, расположенные у двухслойной обмотки в нижнем (начала) и верхнем (концы) слое паза[1].

Цифры в квадратиках дают номер катушечной группы.

Соединение между катушечными группами показаны жирными линиями, причем, чтобы не затемнять схему, вместо трех линий, соответствующих трем фазам обмотки, показана одна. Поскольку в одном слое на каждом полюсе лежат рядом три стороны катушечных групп (по одной на каждую фазу), сдвиг между началами обмоток фаз (который должен быть равен $^2/_3$ полюсного деления) равен двум сторонам катушечных групп.

В соответствии с этим положением I фазе принадлежат катушечные группы 1, 4, 7, 10 и т. д., II фазе — 3, 6, 9, 12 и т. д., III — 5, 8, 11, 14 и т. д. Эти номера катушечных групп и написаны в квадратиках на рис. 3-10.

Поскольку соседние катушечные группы одной фазы расположены на соседних полюсах, для образования правильной (чередующейся) полярности направление тока в соседних катушечных группах должно быть разным.

Схема рис. 3-10,*а* соответствует последовательному включению всех катушечных групп, схема рис. 3-10,*б* — включению их в две параллельные ветви, схема рис. 3-10,*в* — параллельные ветви из двух катушечных групп,

---

[1] Это положение условное. Можно считать и наоборот, т. е. в нижнем слое — концы групп, а в верхнем — начала.

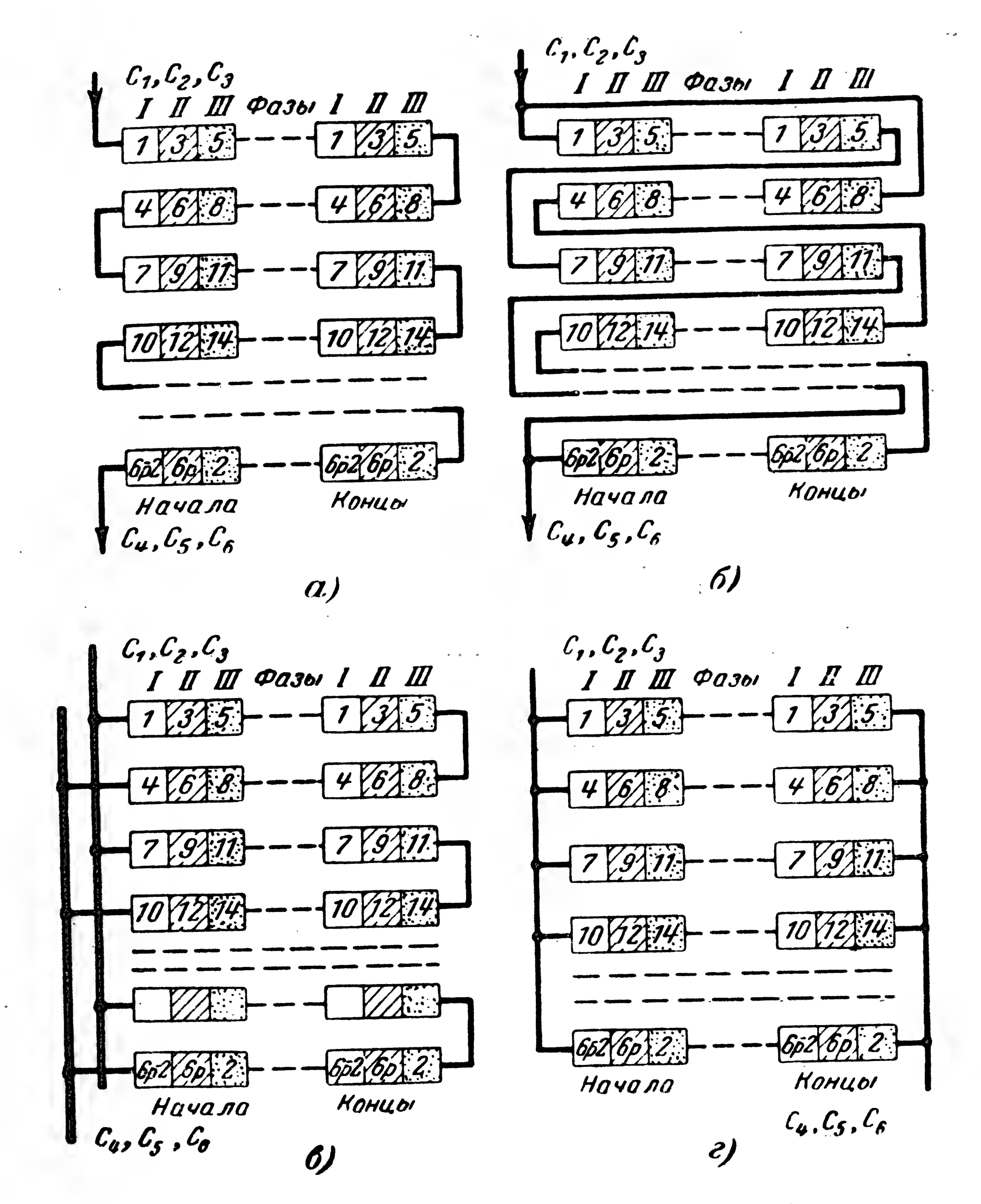


Рис. 3-10. Универсальные схемы двухслойных обмоток.

а — последовательное включение катушечных групп; *б* — включение катушечных групп в две параллельные ветви; *в* — параллельные ветви из двух катушечных групп; *г* — все катушечные группы соединены параллельно.

Цифры в квадратиках — номера катушечных групп.

схема рис. 3-10,*г* — все катушечные группы соединены параллельно.

Применение схемы с тем или иным числом параллельно включенных катушечных групп определяется при электрическом расчете обмоток с учетом возможности использования для различных исполнений машин минимального ко-

личества сечений проводов и чисел витков секций. Наиболее проста и надежна схема рис. 3-10,*а* с последовательным включением катушечных групп. Приведенные универсальные схемы просты и удобны, однако *для осуществления обмотки необходимо определить еще, в каких пазах лежат начала* и концы катушечных групп. Суммируя сказанное, в третьем разделе можно привести табл. 3-1, позволяющую легко подсчитать номера пазов, в которых лежат начала и концы катушечных групп. Нумерацию пазов по соображениям удобства укладки секций лучше делать в направлении, обратном направлению вращения часовой стрелки.

Номера пазов, в которых лежат начала соседних трех групп полюсных катушек, разнятся на величину $2q$ (табл. 3-1).

Таблица 3-1

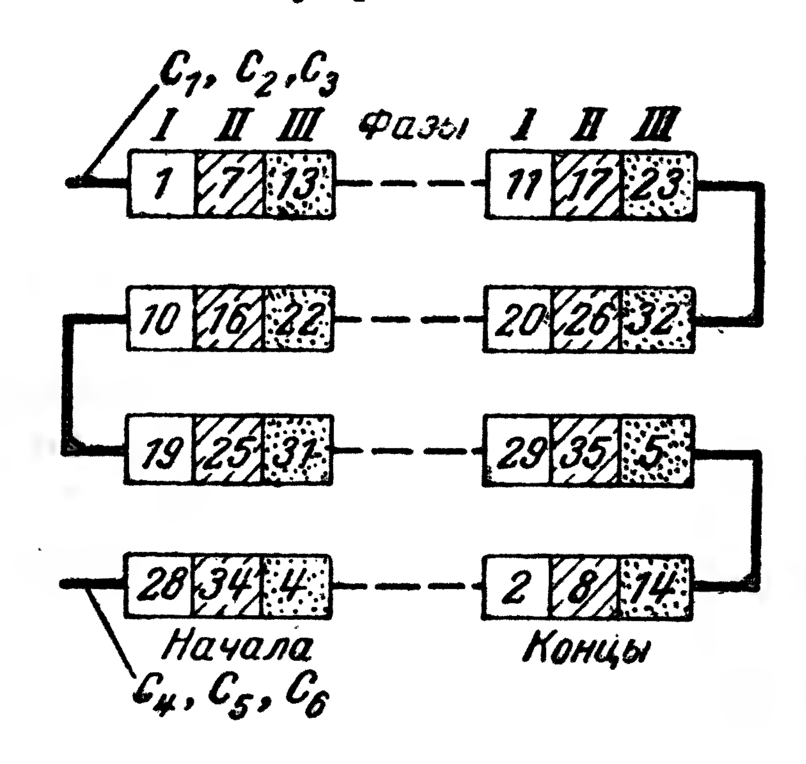
Номера катушечной группы			Номер паза	
Фазы			Начало	Конец
I	II	III		
1			1	$Y+q$
	3		$1+2q$	$Y+3q$
		5	$1+4q$	$Y+5q$
4	6	8	$\left.\begin{matrix}1\\1+2q\\1+4q\end{matrix}\right\}+\frac{Z}{2p}$	$\left.\begin{matrix}Y+q\\Y+3q\\Y+5q\end{matrix}\right\}+\frac{Z}{2p}$
7	9	11	$\left.\begin{matrix}1\\1+2q\\1+4q\end{matrix}\right\}+2\frac{Z}{2p}$	$\left.\begin{matrix}Y+q\\Y+3q\\Y+5q\end{matrix}\right\}+\frac{2Z}{2p}$
и т. д.				
$3\cdot 2p-2$	$3\cdot 2p$	2	$\left.\begin{matrix}1\\1+2q\\1+4q\end{matrix}\right\}+(2p-1)\frac{Z}{2p}$	$\left.\begin{matrix}Y+q\\Y+3q\\Y+5q\end{matrix}\right\}+(2p-1)\frac{Z}{2p}$

Номера пазов, в которых лежат концы катушечных групп, получают, прибавляя к номерам пазов, в которых лежат начала этих групп, число, равное $(y+q-1)$ пазов. Номера пазов (начал и концов) каждых трех последующих катушечных групп получают, прибавляя к соответствующим номерам пазов предыдущих трех групп числа, равного числу пазов на полюс $\tau(\tau=Z/2p)$. Поэтому для

расчета номеров пазов достаточно знать указанные выше три шага (шаг между началами соседних трех катушечных групп $y_{1-3}=y_{3-5}=2q$; шаг между началом и концом одной катушечной группы $y_{нк}=(y+q-1)$; шаг между каждыми тремя группами $y_{1-4}=y_{3-6}=y_{5-8}=Z/2p$.

Примеры составления схем двухслойных обмоток

а) $Z=36$, $p=2$, $y=8$, $q=\frac{36}{3\ 2\cdot 2}=3$, включение катушечных групп последовательное по рис. 3-10, *а*. На рис. 3-11, *а* показана упрощенная схема обмотки, при-



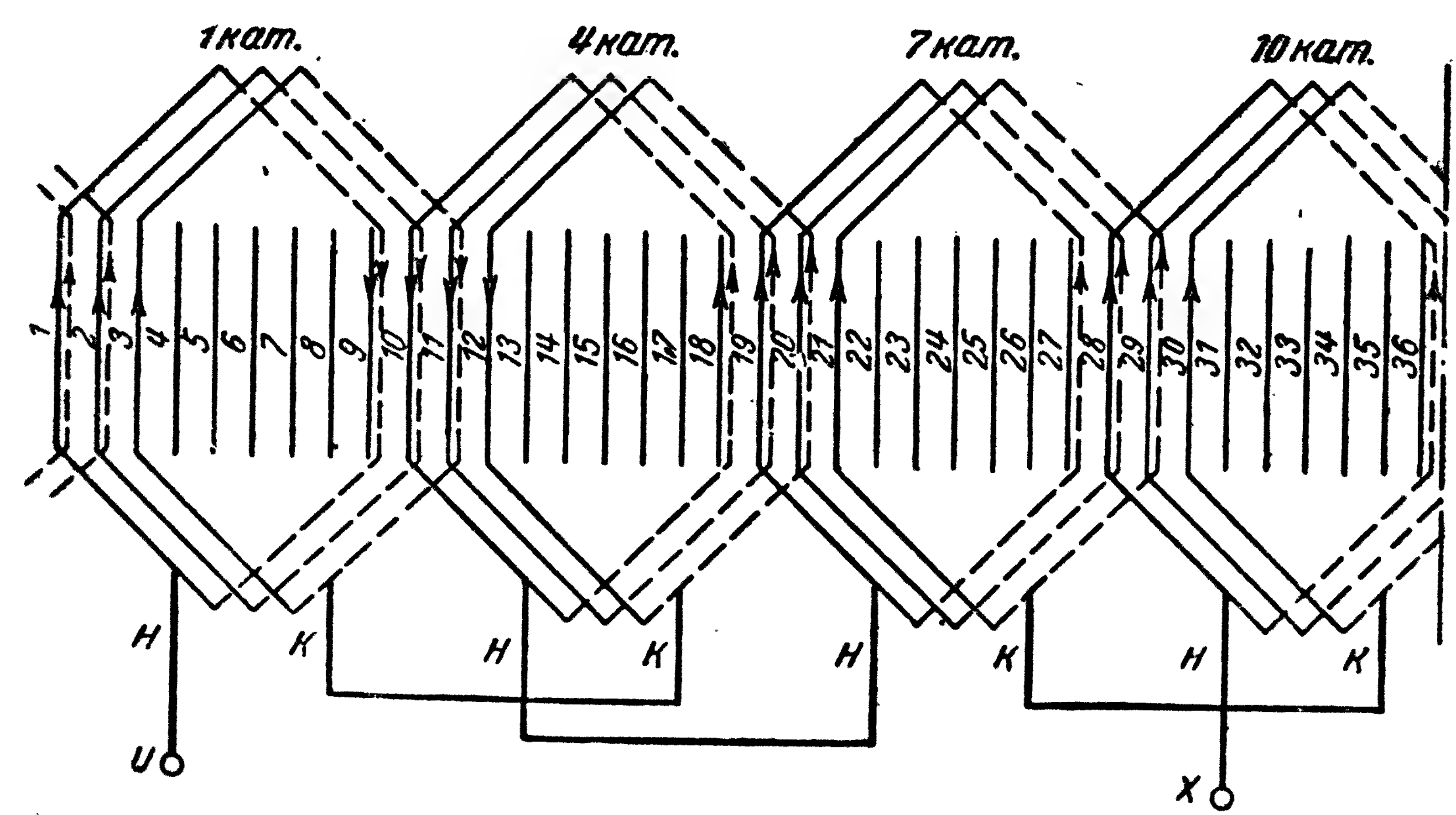


Рис. 3-11. Схемы обмотки.

$z=36$; $p=2$; $y=8$.

Вверху — упрощенная (цифры в квадратиках — номера пазов); внизу — развернутая (одной фазы).

чем цифры в квадратиках дают номера пазов, вычисленных по табл. 3-1. На рис. 3-11, *б* приведена схема одной фазы обмотки.

б) $Z=36$, $p=3$, $y=5$, $q=\frac{36}{3\cdot 2\cdot 3}=2$, упрощенная схема обмотки (цифры в квадратиках — номера пазов) приведена на рис. 3-12, *а*, схема одной фазы — на рис. 3-12, *б*.

в) $Z=54$, $p=3$, $y=7$, $q=\frac{54}{3\cdot 2\cdot 3}=3$. Упрощенная схема обмотки (цифры в квадратиках — номера пазов) приведена на рис. 3-13.

На этой схеме следует обратить внимание на то обстоятельство, что начало III фазы взято не в пазу 13 (согласно табл. 3-1 $1+4q=1+4\cdot 3=13$), а в пазу *49*. Это делается в ряде случаев для сокращения длины выводного конца III фазы, поскольку паз *49* расположен ближе к пазу *1*, чем паз *13*. Начало III фазы в этом случае переносится на два полюсных деления назад (полюсное деление равно $\frac{54}{6}=9$; $13-2\cdot 9=-5$; $54-5=49$) и обход III фазы идет в обратном направлении (т. е. от пазов с большими номерами к меньшим).

Однако такое выполнение соединений III фазы необязательно и она может выполняться по общим правилам.

Однослойные обмотки[1] *с катушечными группами из q/2 катушек* (обмотки по рис. 3-1,*в*, 3-5) выполняются по тем же схемам рис. 3-10, что и двухслойные, поскольку число катушечных групп в этих обмотках одинаково.

Если катушечные группы состоят из *концентрически расположенных катушек* (катушки расположены одна внутри другой), начала и концы первых трех катушечных групп располагаются в пазах:

I группа. Пазы $q/2$ (начало), τ — конец.

III группа. Пазы $q/2+2q$ («), $\tau+2q$ — конец.

V группа. Пазы $q/2+4q$ («), $\tau+4q$ — конец.

Начало I группы в этом случае лежит не в первом пазу, поскольку этот паз принадлежит наружной катушке группы, а начало приходится на внутреннюю. Если катушечные группы состоят из *катушек одинаковой формы*, то:

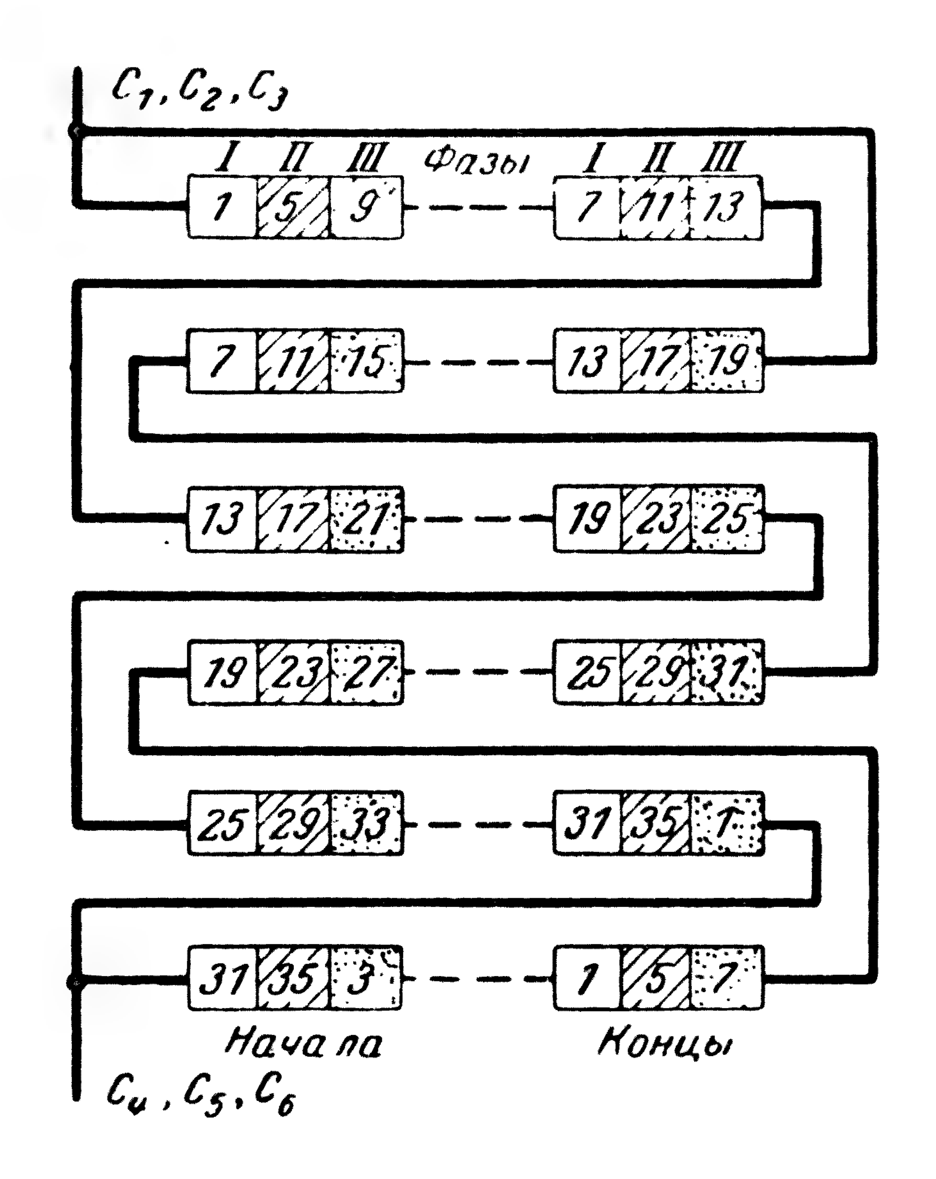
I группа. Пазы *1* (начало), τ—конец.

III группа. Пазы $1-2q$ («), $\tau+2q$ — конец.

V группа. Пазы $1-4q$ («), $\tau+4q$ — конец.

---

[1] Приводимые ниже правила не относятся к однослойным обмоткам с укорочением шага, у которых катушки (секции), принадлежащие разным фазам, расположены вперемешку, а не группами из q или $q/2$ рядом расположенных катушек. Эти обмотки встречаются относительно редко.



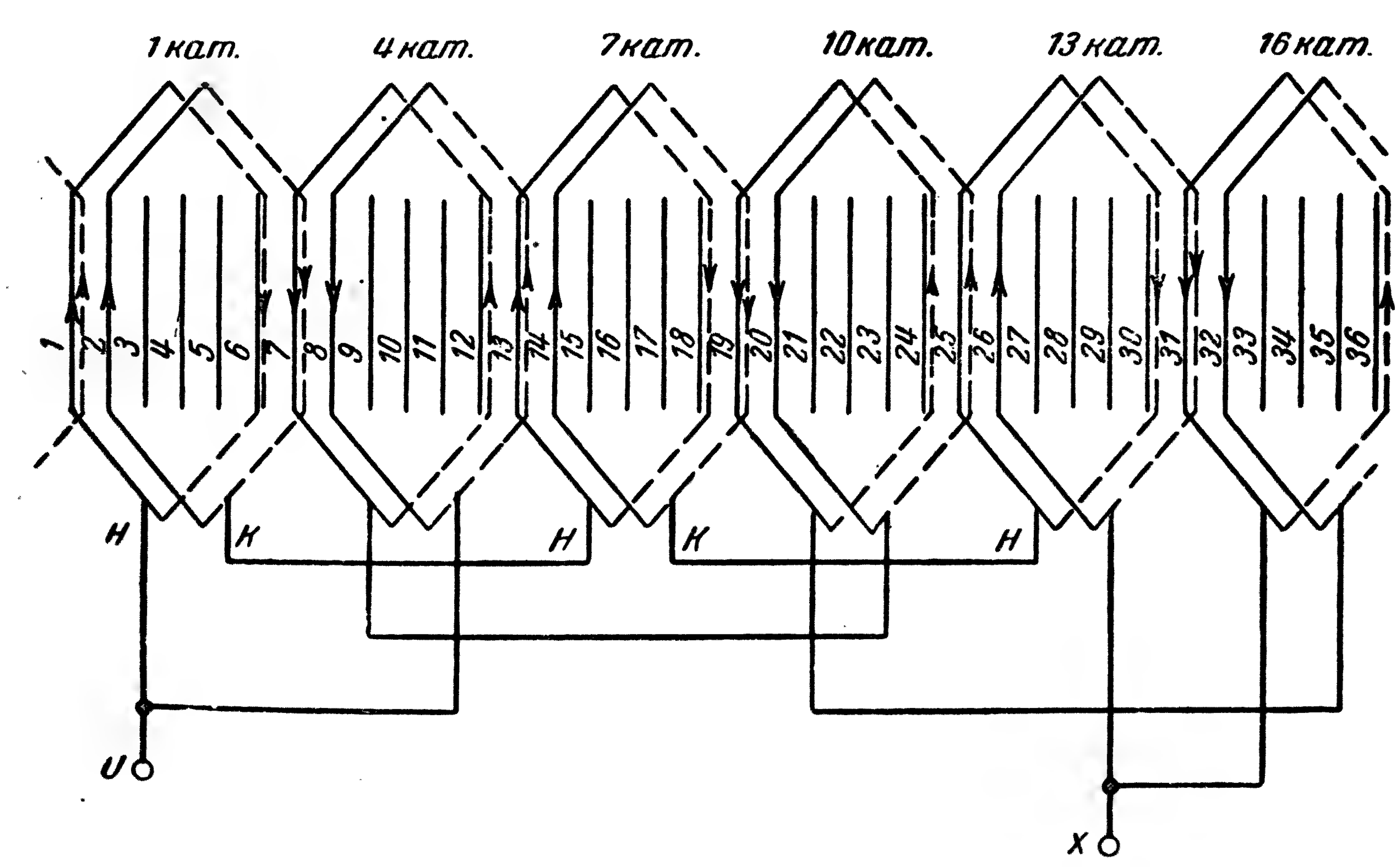


Рис. 3-12. Схема обмотки.

$z = 36$; $p = 3$; $y = 5$.

Вверху — упрощенная (цифры в квадратиках — номера пазов); внизу — развернутая (одной фазы).

Номера пазов последующих групп (по 3) находятся последовательным прибавлением величины $\tau = Z/2p$.

Однослойные обмотки с концентрическими катушками (рис. 3-1,*а*, 3-4) или катушками одинаковой формы (рис. 3-6), у которых *катушечные группы состоят из q катушек*, имеют число катушечных групп в 2 раза меньше, чем у двухслойных, и обмоток с числом катушек в группе, равным $q/2$.

Универсальная схема такой обмотки с последовательным соединением катушечных групп показана на рис. 3-14.

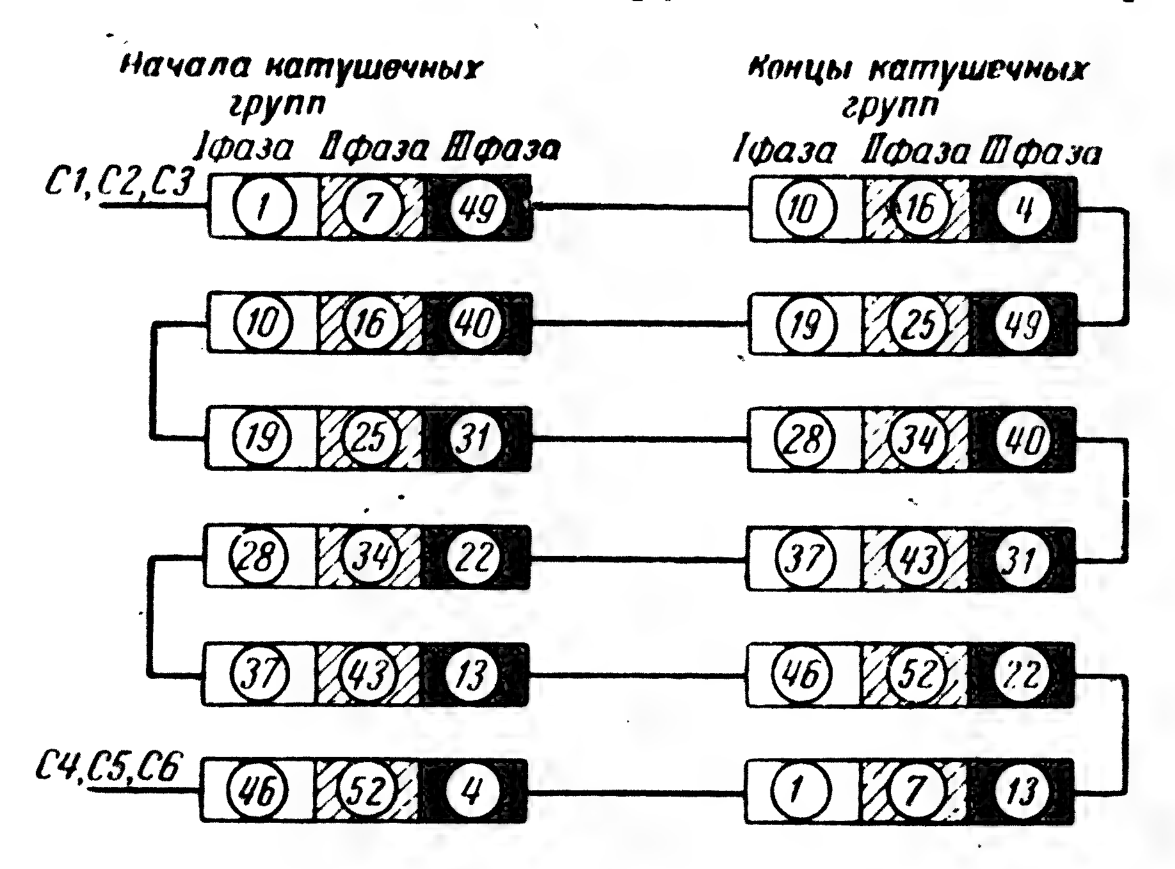


Рис. 3-13. Упрощенная схема обмотки.
$z = 54$; $p = 3$; $y = 7$.
Цифры в квадратиках — номера пазов.

Катушечные группы этих обмоток могут соединяться также параллельно и параллельно-последовательно аналогично схемам рис. 3-10, однако с учетом того обстоятельства, что число катушечных групп здесь в 2 раза меньше и *направление тока в соседних катушечных группах должно быть одинаковым.*

Номера пазов для концентрической обмотки равны:

I катушечная группа	q	и $\tau + q$
III » »	$q + 2q$	и $\tau + 3q$
V » »	$q + 4q$	и $\tau + 5q$

для обмотки с катушками одинаковой формы:

I катушечная группа	1	и $\tau + q$
III » »	$1 + 2q$	и $\tau + 3q$
V » »	$1 + 4q$	и $\tau + 5q$

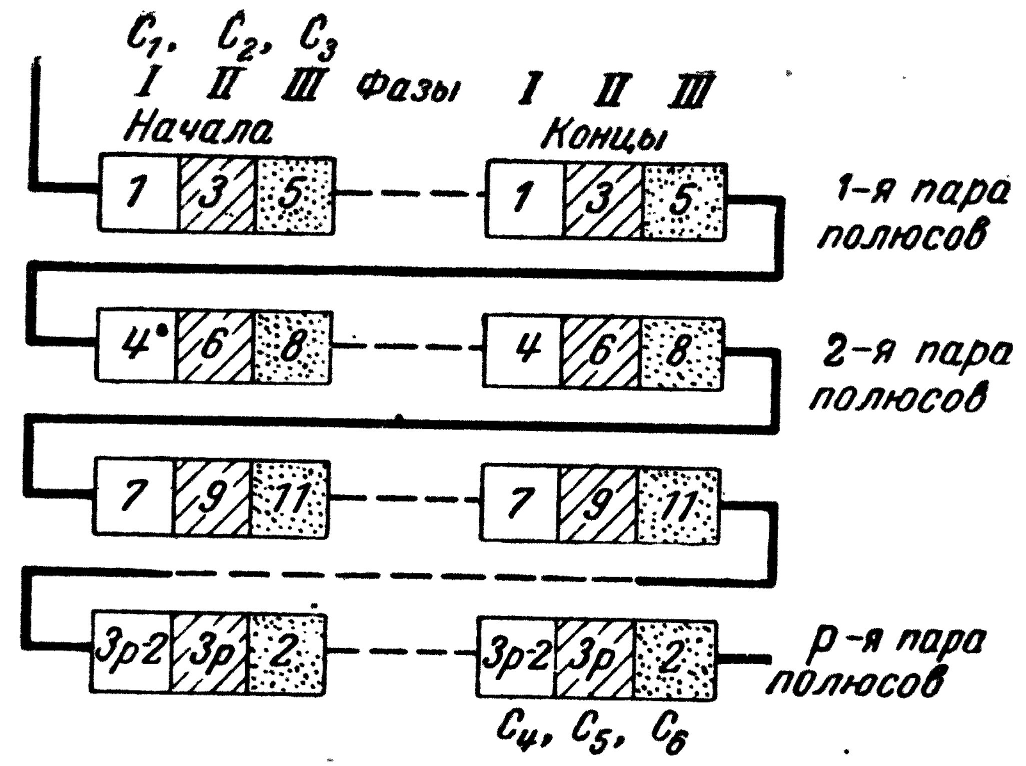


Рис. 3-14. Упрощенная схема однослойной обмотки с катушечными группами из q катушек (последовательное соединение катушечных групп). Цифры в квадратиках — номера катушечных групп.

Номера последующих трех групп получают прибавлением величины $2\tau = Z/p$ следующих за ними трех групп величины $2 \cdot Z/p$ и т. д.

3-8. СОЕДИНЕНИЕ ФАЗ ОБМОТКИ

Обмотки фаз имеют обычно два вывода: начало и конец (обозначения выводов см. табл. 8-1).

У трехфазной обмотки получается, следовательно, шесть концов[1], которые могут быть соединены таким образом, что три обмотки фаз оказываются включенными либо «звездой», (⅄), либо «треугольником» (△).

Соединение звездой характеризуется тем, что три вывода обмоток фаз (начала C_1, C_2, C_3 или концы C_4, C_5, C_6) соединяются вместе, образуя нулевую точку, а другие три вывода присоединяются к питающей линии (рис. 3-15,*б*).

Соединение треугольником характеризуется тем, что конец обмотки одной фазы присоединяется к началу обмотки другой, образуя замкнутый треугольник.

Питание подводится к местам соединения выводов фаз, т. е. C_1—C_6, C_2—C_4, C_3—C_5 (рис. 3-15,*в*).

---

[1] Существуют специальные трехфазные обмотки, у которых имеются выводы от середины фаз (обмотки с параллельными цепями, многоскоростные обмотки и т. п.), где общее число выводов может быть больше шести.

При обоих соединениях напряжение на обмотке фазы должно быть одинаковым.

При соединении в треугольник (рис. 3-15,*в*) фазное напряжение $U_ф$ равно линейному U, а ток фазы, поскольку

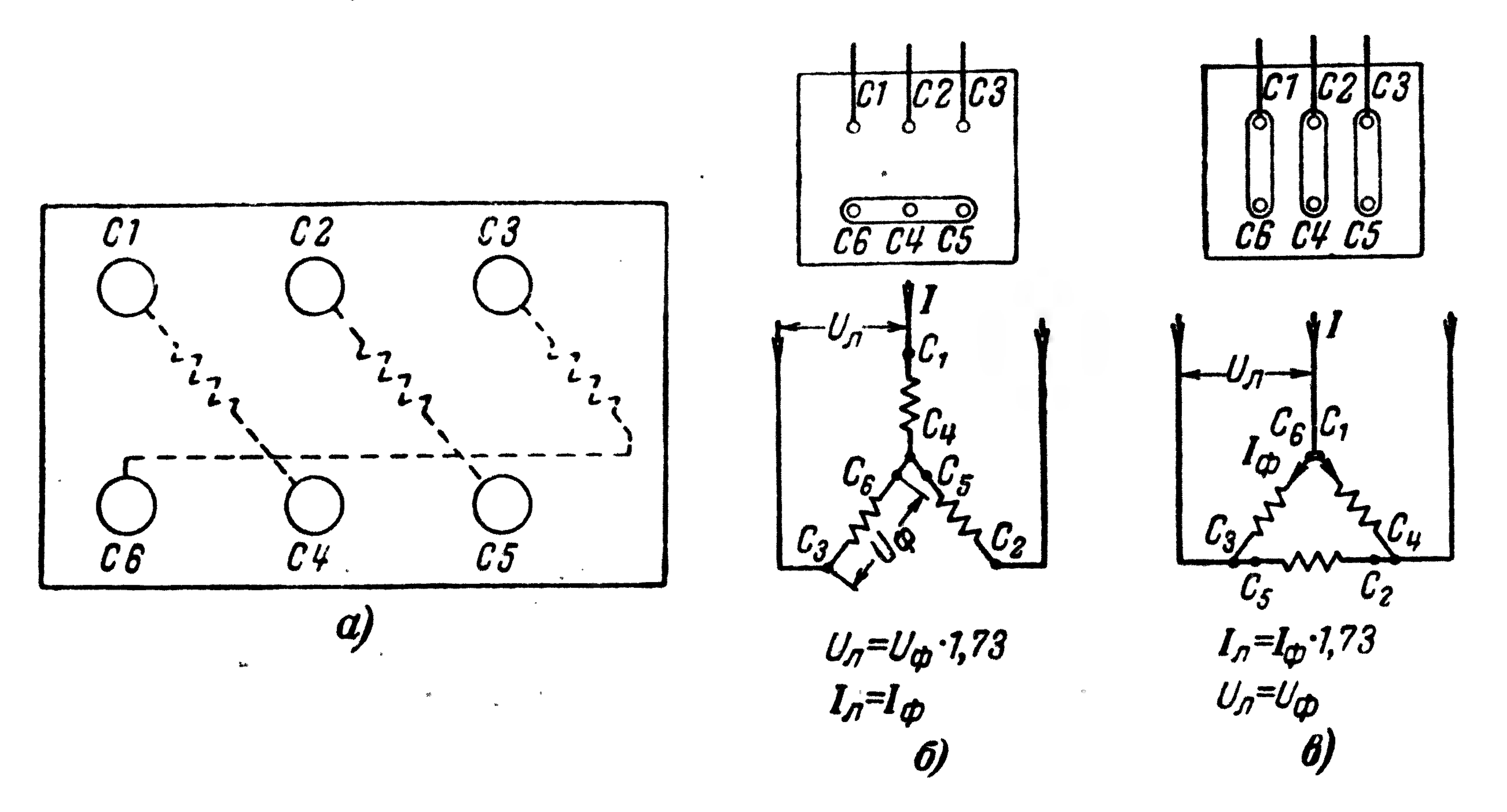


Рис. 3-15. Соединение фаз трехфазной обмотки.

а — расположение выводов на щитке; *б* — включение звездой; *в* — включение треугольником.

от каждого линейного конца питаются две фазы, меньше линейного:

$$I_ф=\frac{I}{\sqrt{3}}=\frac{I}{1,73}=\frac{\text{ток в линейном проводе}}{1,73}$$

При соединении звездой фазное напряжение меньше линейного:

$$U_ф=\frac{U}{\sqrt{3}}=\frac{\text{напряжение между линейными проводами}}{1,73},$$

так как между концами линии включено по две обмотки фаз последовательно; ток фазы, как это непосредственно видно на рис. 3-15,*б*, равен току линии ($I_ф=I$).

При соединении звездой машина должна работать при напряжении на зажимах, в $\sqrt{3}=1,73$ раза большем, чем при соединении в треугольник. Соответственно ток в подводящих проводах должен быть при соединении в звезду в 1,73 раза меньше, чем в треугольник. Мощность машины остается при обоих соединениях одинаковой.

Выводы должны располагаться на щитке, как указано на рис. 3-15,*а*. При таком расположении включение звездой и треугольником осуществляется наиболее просто.

Перемена направления вращения двигателя (реверсирование) достигается взаимной заменой любых двух подводящих проводов.

3-9. ОБМОТКИ МНОГОСКОРОСТНЫХ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ

Изменение скорости вращения этих двигателей достигается изменением числа пар полюсов обмотки статора. Наибольшее распространение получила схема, допускающая изменение скорости вращения в отношении 1 : 2, например 3 000/1 500, 1 500/750 или 1 000/500.

Изменение числа пар полюсов в этой схеме достигается изменением направления тока в одной половине фазы.

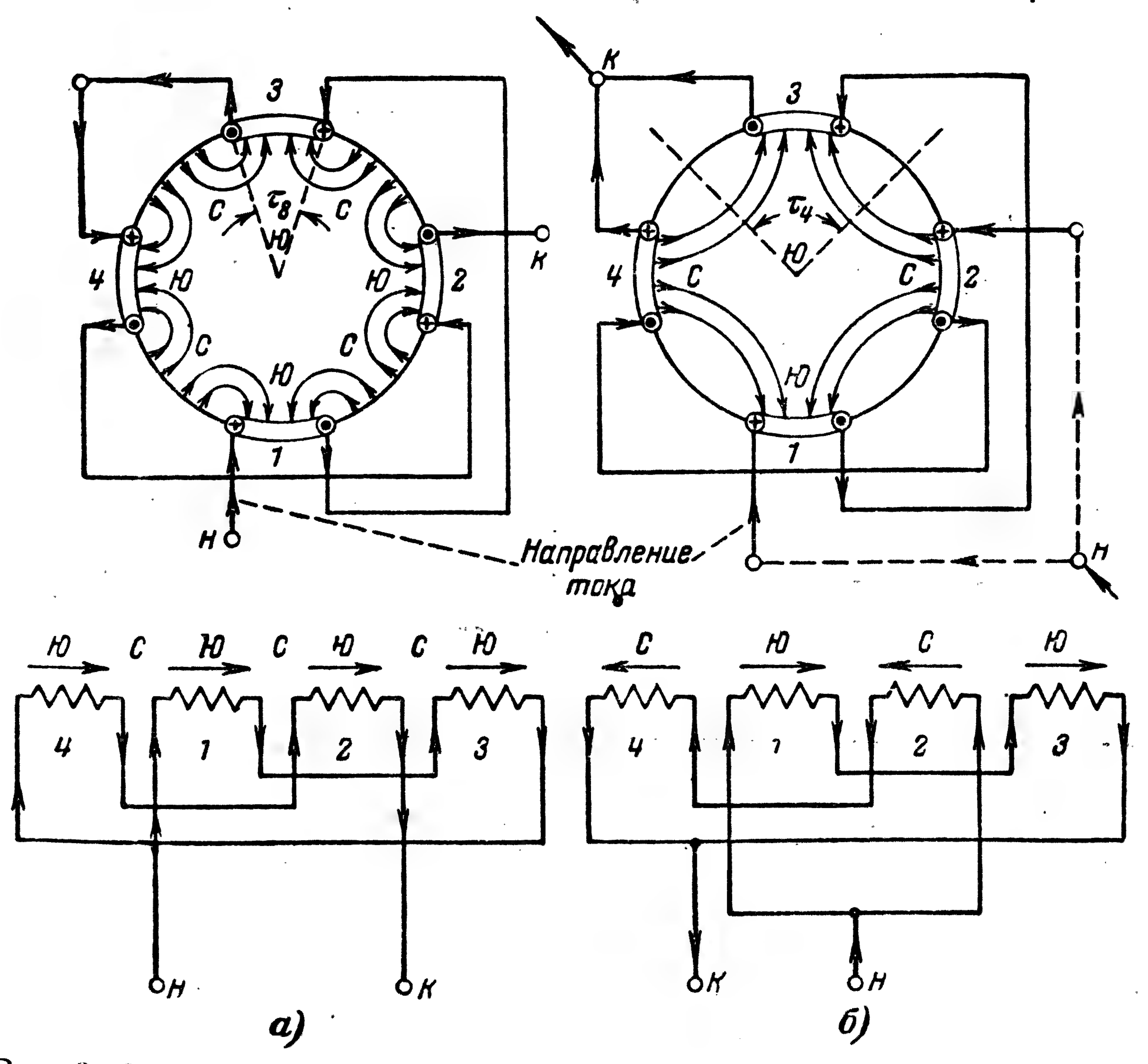


Рис. 3-16. Схема обмотки с переключением на четыре и восемь полюсов (изображена одна фаза).

а — восемь полюсов — соединение полюсных групп последовательно; *б* — четыре полюса — соединение полюсных групп в две параллельные ветви.

Действительно, если у четырехполюсной обмотки (рис. 3-16,*б*) изменить направление тока двух катушек на обратное (рис. 3-16,*а*), то образуется восьмиполюсная обмотка (на рис. 3-16 изображена только одна фаза обмотки).

Следует обратить внимание на шаг катушек, который для четырехполюсной системы является укороченным на-

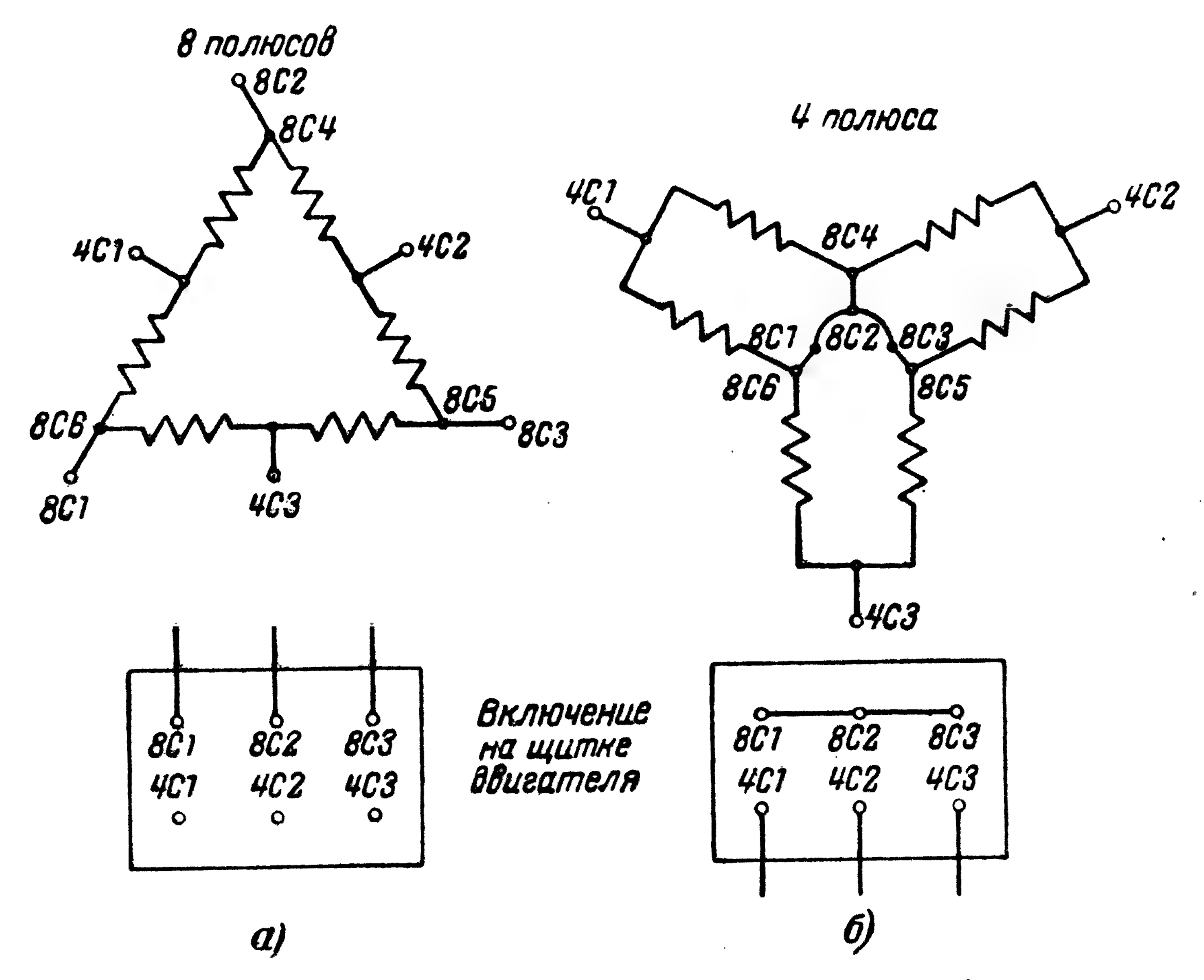


Рис. 3-17. Соединение фаз и включение на щитке обмотки с изменением числа полюсов в 2 раза.

а — включение фаз обмоток в треугольник при восьми полюсах; *б* — включение фаз обмоток двойной звездой (звезда с двумя параллельными цепями в каждой фазе) при четырех полюсах.

половину, а для восьмиполюсной диаметральным ($y=\tau_8=$ $=0,5\tau_4$).

Число пазов на полюс и фазу и число катушек полюсной группы берется по меньшему числу полюсов, как в приведенном выше примере для четырехполюсной обмотки.

Для того чтобы иметь возможность менять направление тока в одной половине катушек обмотки каждой фазы, полюсные группы соединяются через одну, образуя тем самым две равномерно распределенные по окружности статора половины обмотки. Обмотка каждой фазы имеет при этом три вывода: начало, середина и конец.

Изменение направления тока в одной половине каждой фазы достигается переносом питания из начала в середину фазы, а сами фазы оказываются соединенными в первом случае по схеме треугольника (Δ), а во втором случае двойной звездой (ΥΥ).

На рис. 3-17,*а* и *б* приведена схема широко распространенных двигателей типов А и АО. Начала фаз имеют на этом рисунке обозначения *8С1*, *8С2*, *8С3*, концы *8С4*, *8С5*, *8С6* и середины *4С1*, *4С2*, *4С3* соответственно.

Если требуется трехскоростной двигатель, то он выполняется двухобмоточным. Одна обмотка выполняется, как описано выше, на две скорости с отношением 1 : 2, например 3 000/1 500 *об/мин*. Вторая обмотка дает одну скорость, например 1 000 *об/мин*.

Четырехскоростные двигатели имеют две обмотки с переключением числа пар полюсов по описанному выше способу: 3 000/1 500, 1 000/500 или 1 500/1 000, 750/500 *об/мин*.

3-10. ОБМОТКИ ОДНОФАЗНЫХ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Однофазные асинхронные двигатели имеют обычно на статоре две обмотки: рабочую и вспомогательную. Рабочая обмотка включается в сеть непосредственно. Что же касается вспомогательной обмотки, то применяются следующие способы ее включения:

а) включение в сеть только на время пуска через специальный выключатель или центробежный размыкатель, сидящий на валу двигателя; обмотка рассчитывается на короткое время нахождения под током;

б) то же, что в п. «а», но обмотка включается в сеть через пусковой конденсатор;

в) постоянное питание вспомогательной обмотки от сети через конденсатор.

Существуют также малые двигатели, у которых вспомогательные обмотки выполнены в виде короткозамкнутого витка.

Однофазный асинхронный двигатель может быть выполнен и без вспомогательной обмотки, однако в этом случае он должен быть пущен в ход от руки.

Рабочая обмотка обычно занимает $^2/_3$ числа пазов статора, вспомогательная $^1/_3$. Оси (середины) катушечных групп рабочей и вспомогательной обмоток должны быть сдвинуты относительно друг друга на половину полюсного деления.

Для выполнения однофазной обмотки в статоре по рис. 3-6 нужно положить секции рабочей обмотки в пазы *1*, *2*, *3*, *4—7*, *8*, *9*, *10* и *13*, *14*, *15*, *16—19*, *20*, *21*, *22*, а секции вспомогательной обмотки положить в пазы *5*, *6—11*, *12* и *17*, *18—23*, *24*. В каждой рабочей и вспомогательной обмотке образуются две полюсные группы. В соответствии с изложенными выше правилами секции, входящие в одну полюсную группу, соединяются последовательно, а сами группы в зависимости от числа витков в секциях и рабочего напряжения соединяются последовательно или параллельно.

В большинстве случаев перемотка статора по приведенному выше примеру необязательна; рабочая и вспомогательная обмотки однофазного двигателя могут быть получены из трехфазной обмотки без перемотки.

Схема включения обмоток зависит от напряжения сети. Если напряжение сети в 1,73 раза больше фазного напряжения обмотки, то две обмотки соединяются последовательно одноименными концами вместе (как в схеме звезда) и включаются в сеть, образуя рабочую обмотку. Третья обмотка включается в сеть через конденсатор, образуя вспомогательную обмотку. Если напряжение сети равно фазному напряжению обмотки, то обмотка соединяется в треугольник. К двум точкам треугольника подводятся линейные концы, а третья точка также соединяется с двумя линейными проводами через два конденсатора. Одна обмотка при этом является рабочей и две вспомогательными. Первая из описанных схем (звезда) дает несколько лучшие результаты. Однако при таком использовании трехфазной обмотки следует ожидать повышенного тока, в связи с чем мощность двигателя будет снижена по сравнению с мощностью при трехфазном питании на 40—50%.

При перемотке трехфазных двигателей на однофазное питание приходится иногда сталкиваться с таким явлением, когда перемотанный двигатель не разбегается, а застревает на низкой скорости.

Такое явление наблюдается чаще у двухполюсных двигателей (3 000 *об/мин*) и в особенности при отсутствии скоса пазов ротора. Более благоприятным с этой точки зрения является ротор с небольшим числом стержней (например 16—18 стержней в роторе при 24 пазах статора). Улучшить условия пуска можно, увеличив сопротивление клетки ротора (обточкой торцовых замыкающих колец), а также увеличив на 10—20% воздушный зазор (шлифовкой ротора). Иногда помогает разрезка нескольких симметрично расположенных стержней ротора. В тех случаях, когда допустим повышенный шум двигателя, благоприятные результаты могут быть получены при нечетном числе стержней ротора. Все мероприятия, связанные с увеличением сопротивления клетки, разумеется, несколько увеличивают номинальное скольжение двигателя.

При использовании двухслойных трехфазных обмоток благоприятное влияние оказывает укорочение шага на $^1/_3$ полюсного деления.

3-11. РАСЧЕТ ЧИСЛА ВИТКОВ И СЕЧЕНИЙ ПРОВОДНИКОВ

При выполнении обмоточных работ часто требуется подсчитать требуемое число витков и сечение обмотки.

Число витков обмотки определяется ее рабочим напряжением и тем напряжением (точнее э. д. с.), которое создается в одном витке. Разделив рабочее напряжение U * обмотки на напряжение одного витка $u_в$, получим число последовательно включенных витков w, которое должно быть в обмотке:

$$w = \frac{U}{u_в}.$$

* Для трехфазной машины расчет числа витков обмотки одной фазы ведется по фазному напряжению (см. § 3-8).

(Если в обмотке есть параллельные цепи, то это число витков должно быть в каждой из них.)

Таким образом, для определения числа витков нужно узнать напряжение одного витка.

Это напряжение создается в витке вследствие того, что через виток, заложенный в паз статора или ротора, проходит переменный по величине магнитный поток, наводящий, как говорят, индуцирующий в витке определенное напряжение.

Оно зависит от величины магнитного потока Ф, проходящего через виток, и выражается формулой

$$u_в = 4{,}44 f \Phi \cdot 10^{-8},$$

где f — частота переменного тока. Для 50 *гц* $u_в = 2{,}22\Phi \times \times 10^{-6}$ *в*.

Таким образом, для определения $u_в$ необходимо вычислить, какой магнитный поток проходит через виток.

Здесь следует напомнить, что электротехническая сталь, применяемая в электрических машинах в качестве магнитопровода, обладает определенными свойствами, ограничивающими величину магнитного потока, приходящегося на 1 $см^2$ площади, через которую этот поток проходит. Величина магнитного потока, приходящегося на 1 $см^2$ площади, называется *магнитной индукцией* и выражается в гауссах (*гс*).

Указанные выше ограничения связаны с тем обстоятельством, что по мере увеличения индукции возрастает необходимая для возбуждения магнитного потока намагничивающая сила (ампервитки), а следовательно, ток холостого хода и рабочий ток двигателя. Кроме того, увеличиваются потери в стали и нагрев.

Для различных частей магнитопровода допускаются следующие индукции:

Таблица 3-2

Допускаемая индукция В

Часть магнитопровода	Индукция, *гс*
Воздушный зазор . .	7 000—9 000
Зубцы	15 000—18 000
Спинка (ярмо) . . .	11 000—15 000

В условиях ремонта обычно ставится задача определения числа витков обмотки для имеющегося (необмотанного) статора или ротора. Подсчитать магнитный поток, проходящий через виток, проще всего следующим образом.

Площадь полюсного деления $S_р$ равна произведению $\tau \times l_{ст}$, где $l_{ст}$ — осевая длина стали, *см*; τ — полюсное деление, *см*; $\tau = \frac{\pi D}{2p}$, где D — диаметр ротора.

Умножив эту площадь на допускаемую индукцию в воздухе $B_в$, взятую по табл. 3-2, и на коэффициент 0,637, получим магнитный поток Ф одного полюса машины:

$$Ф = 0{,}637 B_в S_р.$$

Коэффициент 0,637 вводится в связи с тем, что индукция не имеет постоянной величины вдоль полюсного деления, а распределяется по закону синуса [1], поэтому берется среднее значение индукции, равное 0,637 $B_в$.

Допустимость выбранной величины индукции в воздушном зазоре и магнитного потока должна быть проверена подсчетом индукции в других частях магнитопровода, зубцах, спинке.

Проверка индукции в спинке статора и ротора в особенности необходима, если машина перематывается на меньшее число полюсов.

В этом случае индукция в спинке может оказаться выше допускаемых величин, указанных в табл. 3-2, и для ее снижения придется уменьшить индукцию в воздушном зазоре и магнитный поток машины.

Действительно, поскольку при уменьшении числа полюсов увеличивается площадь полюсного деления и магнитный поток на полюс, через спинку необходимо пропустить этот увеличенный магнитный поток.

Индукция в спинке находится по формуле

$$B_с = \frac{Ф}{2S_с},$$

---

[1] Лишь в одной точке в середине полюсного деления достигается максимальная величина индукции, равная $B_в$, в остальных точках индукции ниже.

где S_c — сечение спинки:

$$S_c = h_c \cdot l_{ст} \cdot 0{,}95,$$

где h_c — высота спинки, *см*, равная расстоянию от дна паза до наружного диаметра (для статора) или до внутреннего (для ротора).

Коэффициент 0,95 вводится для учета того, что часть длины (5%) занимает изоляционный слой на листах стали.

Индукция в зубцах (статора и ротора) находится по формуле

$$B_z = B_в \frac{t_z}{b_{zмин}},$$

где t_z — зубцовое деление: $t_z = \frac{\pi D}{Z}$;

Z — число зубцов (статора, ротора);

$b_{zмин}$ — наименьшая толщина зубца (статора ротора).

Следует отметить, что приведенные в табл. 3-2 наибольшие допустимые значения индукции в зубцах относятся к трапецеидальным или грушевидным пазам, при которых толщина зубца на большей его части одинакова. Для пазов с параллельными стенками, при которых толщина зубца изменяется по высоте, максимальная индукция, определенная по формуле, может иметь значения до 21 000 (статор) и 22 000 *гс* (ротор).

Таким образом, проверив величины индукций в спинках и зубцах, можно установить допустимую величину магнитного потока двигателя (на полюс) Ф. Полученную на основании изложенных выше соображений величину потока Ф подставляют в формулу, определяющую $u_в$.

Разделив рабочее напряжение на полученную величину $u_в$, получают необходимое число последовательно включенных витков обмотки.

Примечание. Приведенный метод подсчета является приближенным, так как не учитывает падения напряжения в обмотке (существенно для машины мощностью менее 1 *квт*), уменьшения напряжения витка вследствие укорочения шага (существенно для больших укорочений шага) и уменьшения напряжения обмотки вследствие распределения витков в нескольких пазах (существенно для однофазных обмоток).

Последние два обстоятельства при точном расчете учитываются введением так называемых «обмоточных коэффициентов» (см. [Л. 3] или Жерве Г. К. «Расчет асинхронных двигателей при перемотке», ГЭИ, 1959).

При расчете изложенным выше приближенным методом можно несколько уточнить расчет и учесть влияние этих обстоятельств, увеличив полученное число витков на 5—10%.

Сечение провода обмотки выбирают по допустимой плотности тока, т. е. по току, приходящемуся на 1 *мм*² сечения провода $q = \frac{1}{\Delta S}$, где i — ток, приходящийся на одну параллельную ветвь обмотки.

Допустимую плотность тока ΔS [*а/мм*²] выбирают в пределах 4—6,5 *а/мм*² для вентилируемых машин, 3—4,5 *а/мм*² для закрытых обдуваемых.

Выбранное число витков и сечение провода должны быть проверены путем укладки в паз пробной секции.

Сечение выводов и соединений см. в приложении 3.

3-12. НЕИСПРАВНОСТИ ОБМОТОК И ИХ ВЫЯВЛЕНИЕ

На участке разборки электроремонтного цеха устанавливают неисправности в статорных обмотках машин переменного тока, характер и объем ремонта: результаты заносят в ведомость.

В табл. 3-3 указано, какой ремонт необходим в зависимости от неисправности и причины, вызвавшей эту неисправность.

Вопросы частичного ремонта или полной перемотки решают в зависимости от размеров повреждения, состояния неповрежденной части обмотки и возможности остановки агрегата. В некоторых случаях (при большом числе катушек на фазу) удается добиться пуска машины выключением пробитых или замкнутых статорных катушек (лобовые части этих катушек должны быть разрезаны во избежание появления тока в короткозамкнутых витках).

Понижение сопротивления изоляции на корпус определяют путем измерения его мегомметром (меггером) или вольтметром. Если есть доска зажимов, то измерять нужно до и после отсоединения выводных концов статора от зажимов. Тем самым проверяется исправность изоляции зажимов.

Если меггомметр показывает нулевое сопротивление, то очевидно, что имеет место *пробой изоляции на корпус*. Для нахождения места повреждения обмотку разъединяют на отдельные фазы, а эти последние на отдельные участки и мегомметром или на «лампочку» устанавливают, в каком из участков имеет место повреждение. Для дальнейшего уточнения места заземления можно прибегнуть к прожига-

Таблица 3-3

Неисправности обмоток машин переменного тока

	Неисправность	Причина	Ремонт
1	Понижение сопротивления изоляции	Попадание влаги Загрязнение неизолированных мест Повреждение изоляции выводов и коробки зажимов	Сушка, очистка, пропитка Переизолировка выводов и зажимов
2	Пробой изоляции: а) на корпус («земля»)	Механические повреждения при изготовлении, укладке, эксплуатации. Дефекты изготовления	Замена поврежденных секций (катушек)
	б) между витками («витковое»)	Распушение зубцов стали статора	Устранить замыкание и выправить зубцы
	в) между фазами («фазное»)	Старение изоляции из-за длительного срока службы или недопустимого перегрева (перегрузка, плохая вентиляция и т. д.)	Полная перемотка. Кроме того, для создания нормальных условий работы: усиление нагревостойкости или снижение температуры обмотки (снижение нагрузки усиление вентиляции)
		Механическое разрушение электромагнитными усилиями при пуске, торможении и т. д.	Проверка и снижение кратности пускового и тормозного тока. Проверка защиты

Продолжение табл. 3-3

	Неисправность	Причина	Ремонт
		Химические разрушения от действия масел, щелочей, воды	Покрытие обмотки лаками соответствующих качеств (маслостойкость, кислотостойкость)
3	Распайка соединений или проводников	Перегрузка током при пуске	Для увеличения влагостойкости — компаундировка или многократная пропитка Пайка твердым припоем
4	Обрыв	Плохая пайка	Перепайка
		Распайка соединений, механическое разрушение	Перепайка
5	Механическое разрушение	Проседание и задевание ротора о статор	Частичная или полная перемотка. Проверка зазора, ремонт подшипников. Распиловка и чистка поврежденных частей сердечника
6	Неправильные соединения секций (катушек)	Ошибки при перемотке	Восстановление правильной схемы соединений

нию изоляции значительным током до появления дыма, показывающего место повреждения. Делается это следующим образом: к концу поврежденного участка обмотки и корпусу подводят напряжение сети, ток регулируют дополнительным сопротивлением реостата или мощной лампы, включенными последовательно в контур тока. Однако в некоторых случаях (металлическое короткое из-за расплавления меди секций вольтовой дугой или пробое) этот способ не дает результатов.

У небольших машин следует зажечь через заземленное место лампочку (120—220 *в*), после чего ударами молотка через деревянную колодку осадить в осевом направлении все статорные зубцы по очереди с обеих сторон. Погасание лампочки, т. е. исчезновение заземления, укажет на место повреждения изоляции у выхода из определенного паза.

Метод поочередной распайки обмотки на отдельные катушки и проверка каждой из них для машин с большим числом катушек практически неприемлем. В этом случае может быть применен магнитный метод. Ток (переменный или постоянный) подводится к концу неисправной фазы (или к началу этой фазы) и к корпусу машины. Тонкой стальной пластинкой (щупом) проводят по пазам неисправной фазы, начиная от включенного конца. Так как ток идет по катушкам фазы только до места, где произошло заземление (дальше он переходит на корпус), то в этом месте прекращается притяжение щупа к пазам. Для проверки обход щупом производят 2 раза — при включении тока в начало и в конец фазы. При пропускании переменного тока тонкий щуп притянется с легким жужжанием, что облегчит нахождение места заземления. Вывода ротора из статора при этом не требуется. Найденную магнитным методом неисправную катушку отсоединяют от остальной обмотки и мегомметром проверяют правильность установленного места заземления. Этот же метод может быть применен для нахождения места *замыкания между фазами*. Вместо магнитного метода может быть применен также метод потенциометра (см. § 4-9).

Для асинхронных двигателей малой и средней мощностей *межвитковое замыкание* до разборки машины наиболее просто обнаружить по нагреву лобовой части замкнутой катушки при холостом ходе или подключении статора к напряжению при разомкнутом роторе. При этом в поврежденной фазе протекает большой ток. Для асинхронных двигателей высокого напряжения (6 000 *в*) указанная

выше проверка требует включения статора на высокое напряжение.

Поэтому для прогрева и обнаружения места межвиткового замыкания лучше возбудить ротор двигателя (напряжение регулируется индукционным регулятором). Прикасаться к статорной обмотке можно только после выключения напряжения на роторе.

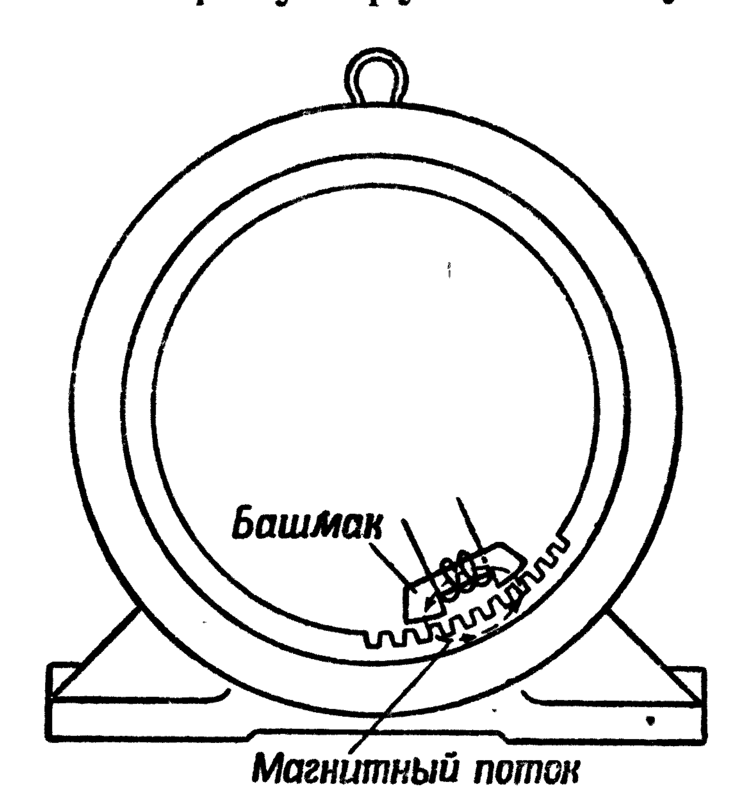


Рис. 3-18. Магнитный башмак для испытания обмоток.

После разборки машины и разъединения параллельных цепей обмотки статора межвитковое замыкание в ней может быть обнаружено «магнитным башмаком» или измерением сопротивления катушек методом вольтметра — амперметра или двойным мостом (для катушек с небольшим числом витков).

Магнитным башмаком проверяется также отсутствие межвиткового замыкания во вновь изготовленной обмотке (до соединения параллельных цепей между собой). Принцип работы башмака виден на рис. 3-18. Башмак возбуждается током с частотой 500 *гц* *, что позволяет при небольшом магнитном потоке, возбуждаемом башмаком и проходящем через зубцы статора, получить достаточное напряжение между витками. Если катушка не имеет межвиткового замыкания, то при индуцировании ее магнитным башмаком ток в ней не возникает. Поэтому притяжения к зубцам статора, охватывающим ее вторую сторону, также не будет. Притяжение стальной пластинки к этим зубцам указывает на межвитковое замыкание.

Для обнаружения межвиткового замыкания, кроме стальной пластинки, может применяться также неоновый указатель (индикатор). Он состоит из П-образного сердечника, набранного из тонких (0,5—0,35 *мм*) листов электротехнической стали с намотанной на него многовитковой катушкой (1 000—2 000 витков) из тонкой проволоки с изоляцией ПЭВ или ПЭЛШО. Концы обмотки включаются на неоновую лампочку. Расстояние между ножками сердечника должно приблизительно соответствовать расстоянию между зубцами испытуемого статора (ротора, якоря).

---

* Генераторы с частотой 500 *гц* изготовляет завод «Электрик». См. также гл. 8.

Индикатор перемещается по зубцам так же, как указанная выше пластинка. Если в пазу, охватываемом ножками сердечника индикатора, есть короткозамкнутые витки, неоновая лампа загорается. Чувствительность этого индикатора (как и способа с пластинкой) можно установить, подвергнув проверке магнитным башмаком необмотанный статор с заложенным в два паза замкнутым витком из проволоки с наименьшим употребляемым диаметром. Увеличить чувствительность можно, увеличив число витков обмотки индикатора.

При наличии параллельных цепей в фазах обмотки статора индуктированное башмаком в секции напряжение вызовет ток, замыкающийся через параллельную цепь. Поэтому *для проверки обмотки магнитным башмаком параллельные цепи*[1] *должны быть разъединены.*

Следует отметить, что обнаружение неисправностей лучше делать, пока статор еще не остыл, так как в некоторых случаях при остывании повреждение не обнаруживается.

Распайка соединений может быть обнаружена по измерению сопротивлений фаз обмотки или по нагреву при пропускании постоянного тока.

Хорошо зарекомендовали себя при контроле обмоток импульсные приборы, в частности приборы типа СМ1, СМ2, СМ4 (разработанные тт. Смирновым и Мажуга во Всесоюзном электротехническом институте [Л. 15]. В таких приборах с помощью разряда конденсатора на испытуемую обмотку подается кратковременный импульс высокого напряжения, что позволяет получить большое напряжение между витками и тем самым выявить качество межвитковой изоляции. Прибор является универсальным и позволяет выявить также различные дефекты обмотки (витковые замыкания, ошибки в числе витков и схеме соединения, пробой изоляции, обрыв и т. п.).

Подготовка статора к перемотке заключается в удалении старой обмотки (или ее части) и очистке статора.

У машин с миканитовой изоляцией (при открытых пазах) для удаления секций обмотки без повреждения обмотку необходимо предварительно прогреть током или в печи до температуры 70—80° С. После удаления клиньев секции можно поднять, загоняя тонкий стальной клин между нижней и верхней секциями и между секцией и дном паза.

Для удаления всыпной обмотки в зависимости от пропиточного лака приходится прибегать либо к нагреву до 70—80° С (если применяются битумные лаки, см. § 5-7), либо к выжиганию лака при высокой температуре (если применяются смоляные цементирующие лаки см. § 5-7).

[1] Не смешивать с параллельными проводниками.

Чтобы предохранить медь от окисления, отжиг желательно производить без доступа воздуха. После отжига провод может быть удален через прорезь паза.

При больших количествах ремонтируемых машин для удаления всыпных обмоток прибегают к разрезке лобовых частей с одной стороны статора и удалению разрезанных катушек с помощью специального вытяжного приспособления. После удаления обмотки пазы очищают от старой изоляции (вручную стальными щетками, вращаемыми электродрелью, и т. п.), а также от поврежденной или имеющей следы старения изоляции обмоткодержателей и других деталей. Если старую изоляцию пазов трудно снять, то статоры малых габаритов после снятия обмотки погружаются в горячее трансформаторное масло, размягчающее остатки изоляции.

Статоры или роторы крупных машин очищают затем тряпками, смоченными растворителем (бензин, четыреххлористый углерод). Статоры и роторы небольших машин, равно как и механические детали (щиты и т. п.), промывают в 2—3%-ном растворе каустика в воде при температуре 70—80° С. Раствор перемешивают с помощью сжатого воздуха. После такой промывки следует промывка в горячей воде, затем сушка.

В очищенном от грязи статоре нужно тщательно проверить состояние стальных пакетов, произвести зачистку пазов от заусенцев, подтяжку шпилек, стягивающих сердечник, и измерить мегомметром изоляцию этих шпилек. Пазы и торцовые части сердечника и нажимных шайб окрашивают лаком. Нажимные шайбы и пазы изолируют.

В процессе снятия старой обмотки необходимо составить обмоточную записку.

Обмоточная записка должна содержать следующие данные:

а) назначение машины, завод-изготовитель, тип, заводской номер;

б) число фаз, мощность, напряжение и ток; схема соединения фаз; число оборотов в минуту, число пар полюсов;

в) внутренний и наружный диаметры статорного сердечника; длина стали, включая вентиляционные каналы, число каналов, ширина канала; число пазов; размеры паза, включая ширину прорези полузакрытого паза;

г) сечение меди обмотки, марка провода; число проводов в пазу; число параллельных проводов; шаг секций (катушек) по пазам; сопротивление секции (катушки); сопротивление фазы;

д) схема соединения обмоток (см. § 3-7);

е) размеры и геометрическая форма секций (катушек). Средняя длина витков, секций (катушек);

ж) изоляция секции (катушки): изоляция прямой части, сгибов, выводов, наклонной части, головки и т. д.: примененный изоляционный материал и его размеры:

з) изоляция паза; размер и количество прокладок;
и) размер клиньев;
к) изоляция нажимной шайбы, обмоткодержателя и т. п.

3-13. СПОСОБЫ ВЫПОЛНЕНИЯ ОБМОТОК

Обмотки статоров в зависимости от формы паза, напряжения и мощности машины могут выполняться следующими способами:

1. Укладка секций (катушек) по одному проводнику через прорезь паза. Паз статора полузакрытый. Обмотка может быть двухслойной и однослойной. Этот способ выполнения широко распространен для машин малой и средней мощностей для напряжения до 500 *в*. Обмотка носит название «всыпной», «шаблонно-рассыпной» обмотки с «мягкими» секциями.

2. Протяжка провода через пазы. Обмотка применялась для напряжения до 6 000 *в* при закрытых или полузакрытых пазах. Протяжной способ укладки обмотки весьма трудоемок, причем надежность изоляции обмотки для напряжения 3 000—6 000 *в* ниже, чем у шаблонной. Поэтому этот способ вытесняется всыпной и шаблонной обмотками.

3. Протяжка изолированных стержней в пазы (закрытые или полузакрытые) с последующей пайкой соединений между стержнями. Этот способ выполнения шинной обмотки широко распространен для роторов асинхронных двигателей. Изоляция пазовой части стержней должна быть достаточно хорошего качества, чтобы она не была повреждена при протяжке стержней в пазы.

4. Укладка готовых секций в открытые пазы. Обмотка применяется для мощных машин при напряжении 500—3 000 — 6 000 *в* и выше. Предварительное изготовление катушек позволяет получить высококачественную изоляцию. Обмотка может быть двухслойной и однослойной и носит название «шаблонной».

Разновидностью этой обмотки является обмотка, вкладываемая (по частям) в полуоткрытый («сапожковый») паз через прорезь паза.

3-14. ВСЫПНАЯ ОБМОТКА

Изоляция паза статора и нажимных шайб показана на рис. 3-19 и 3-20. После укладки через прорезь паза всех проводников (катушек) края прессшпановой коробочки, выступавшие из паза наружу для защиты проводника от повреждения при укладке, срезаются ножом заподлицо с расточкой статора и загибаются (рис. 3-19,*б*).

Пазовая изоляция (коробочка) изготовляется из двух

слоев электрокартона толщиной 0,1—0,3 *мм*, склеенных изоляционным лаком, с проложенной между ними лакотканью толщиной 0,1—0,2 *мм*. Для напряжений до 24 *в* коробочка состоит из одного слоя электрокартона толщиной 0,2—0,3 *мм*. Длину лакоткани следует брать на 15—20 *мм* больше, чем длину электрокартона, для того чтобы иметь возможность завернуть лакоткань на электрокартон, как показано на рис. 3-21. Подобная конструкция увеличивает влагостойкость изоляции, препятствуя понижению ее сопротивления под действием влаги.

Рис. 3-19. Укладка всыпной обмотки в пазы.

Пазовая изоляция, как указывалось в гл. 2, должна выступать из стали на определенную длину, так называемый «вылет» (рис. 3-21).

Место выхода коробочки из паза является чрезвычайно ответственной частью изоляции, препятствующей повреждению изоляции обмотки при распушении зубцов. Для усиления этой части изоляции в некоторых конструкциях электрических машин предусматривается уширение паза с края сердечника с закладкой *U*-образной скобочки из электрокартона (рис. 3-20). Большую роль при этом играют также изоляция крайних листов активной стали и изоляция шайбы.

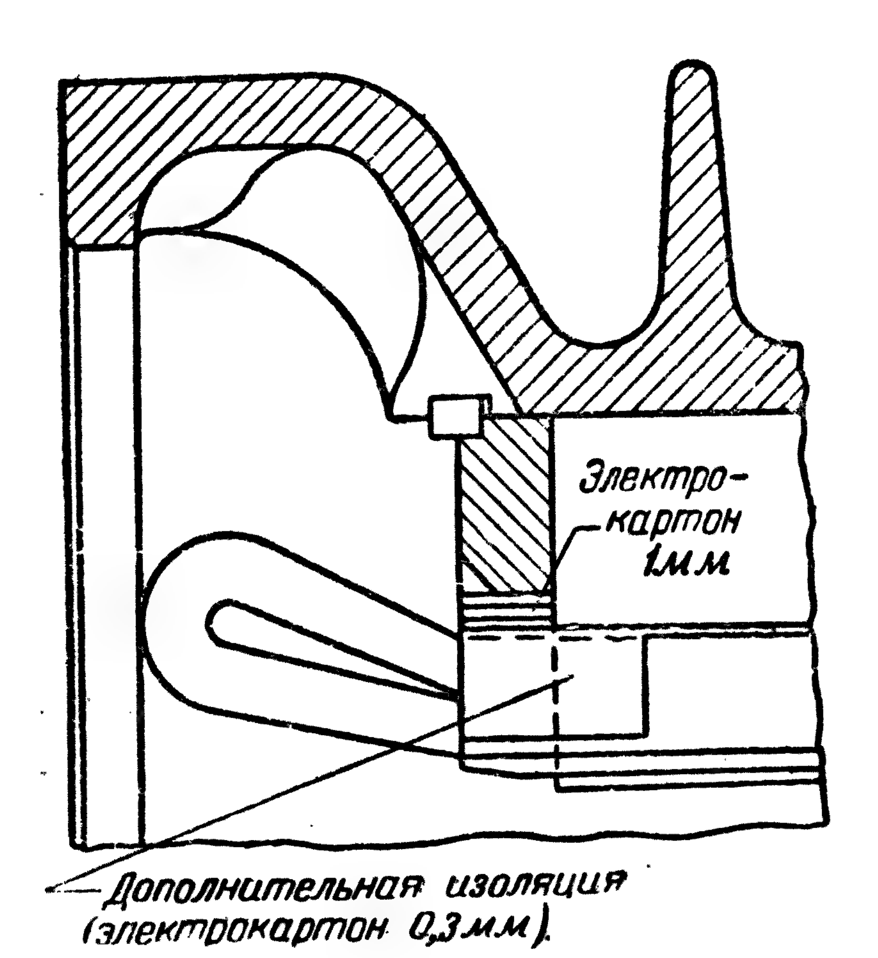


Рис. 3-20. Изоляция нажимной шайбы.

Выступающая часть коробочки может опираться на изоляцию нажимной шайбы, как показано на рис. 3-20.

Другой способ поддержки выступающей изоляции показан на рис. 3-22, где с двух сторон пакета статора вставлены диски из пропитанного текстолита с открытыми пазами по числу пазов статора. Крайние листы стали стато-

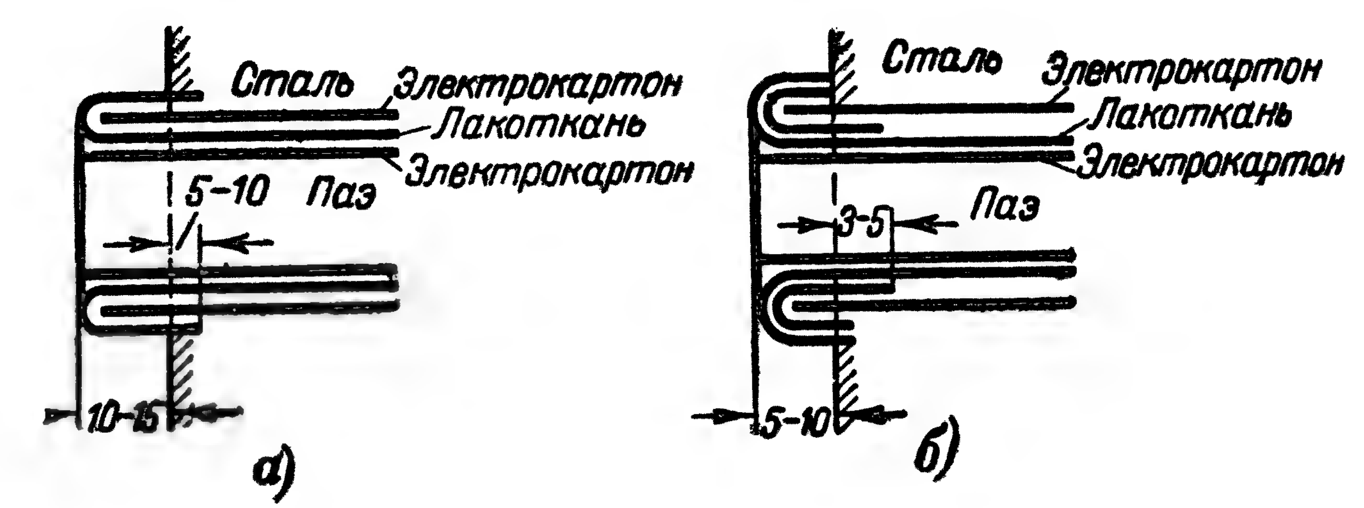


Рис. 3-21. Усиление изоляции вылета одинарным (*а*) и двойным (*б*) заворотом лакоткани.

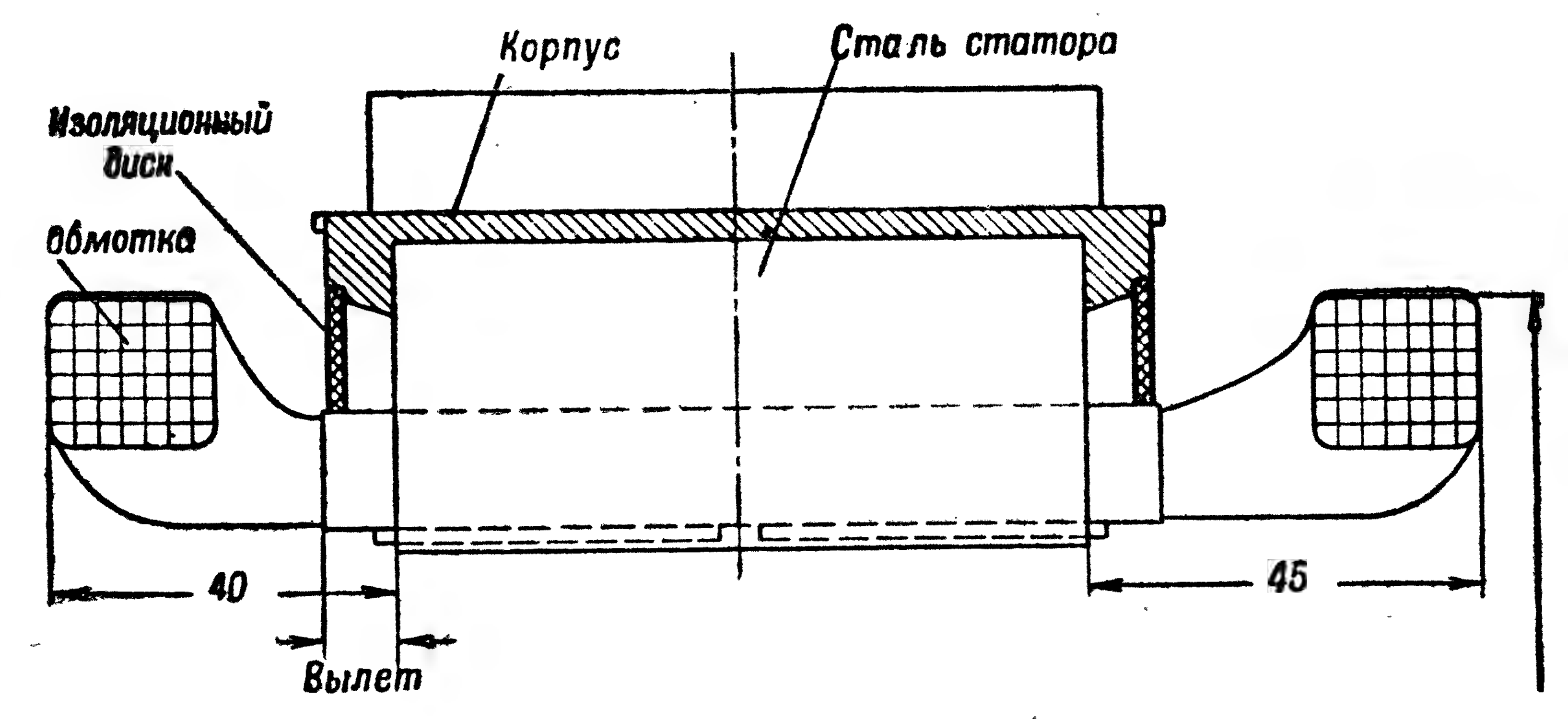


Рис. 3-22. Поддержка вылета изоляционными дисками.

ра изолируют обычно листом электрокартона, закладываемого при прессовке пакета.

Для укладки подготавливаются катушки (секции), наматываемые на шаблоне (рис. 3-23). Для намотки применяют провода марок ПБД, ПЭЛБО, ПСД, ПЭТСО, а для малых машин — ПЭЛ, ПЭЛШО, ПЭВ.

Для уменьшения количества паек и соединений на статоре на шаблоне наматывают сразу число катушек, приходящееся на полюс — фазу, а при числе полюсов, равном 2, — на всю фазу. Намотанные на шаблоне катушки связывают лентой и в дальнейшем не изолируют.

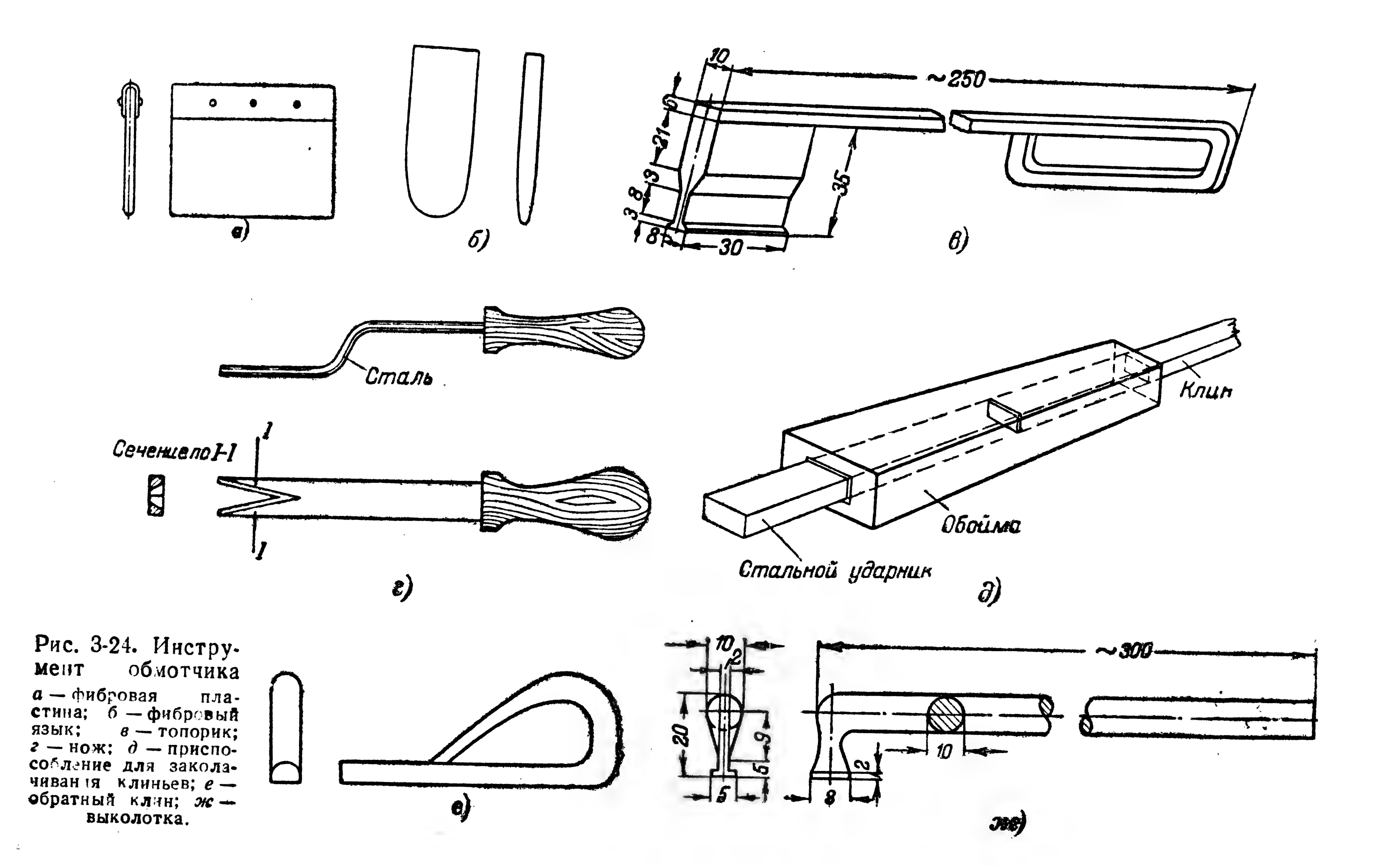


Рис. 3-24. Инструмент обмотчика

а — фибровая пластина; *б* — фибровый язык; *в* — топорик; *г* — нож; *д* — приспособление для заколачивания клиньев; *е* — обратный клин; *ж* — выколотка.

ние и на корпус. Затем производится соединение секций (временное), после чего следует проверить правильность соединения при помощи компаса при питании обмоток фаз поочередно небольшим током, например от аккумуляторов. При правильном соединении компас, проведенный вдоль окружности расточки статора, отметит поворотом стрелки требующееся число пар полюсов, на каждый из которых должно приходиться равное число пазов.

При небольшом сечении проводов соединение наиболее просто производится сваркой. К зачищенным и скрученным концам прикасаются металлическим электродом, а к концу скрутки — угольным. Электрической дугой конец скрутки оплавляется в небольшой шарик. Этот метод дает наиболее надежное соединение (требуемое напряжение 50—60 *в*, мощность 500 *вт*). После изолировки мест соединения статор поступает на пропитку.

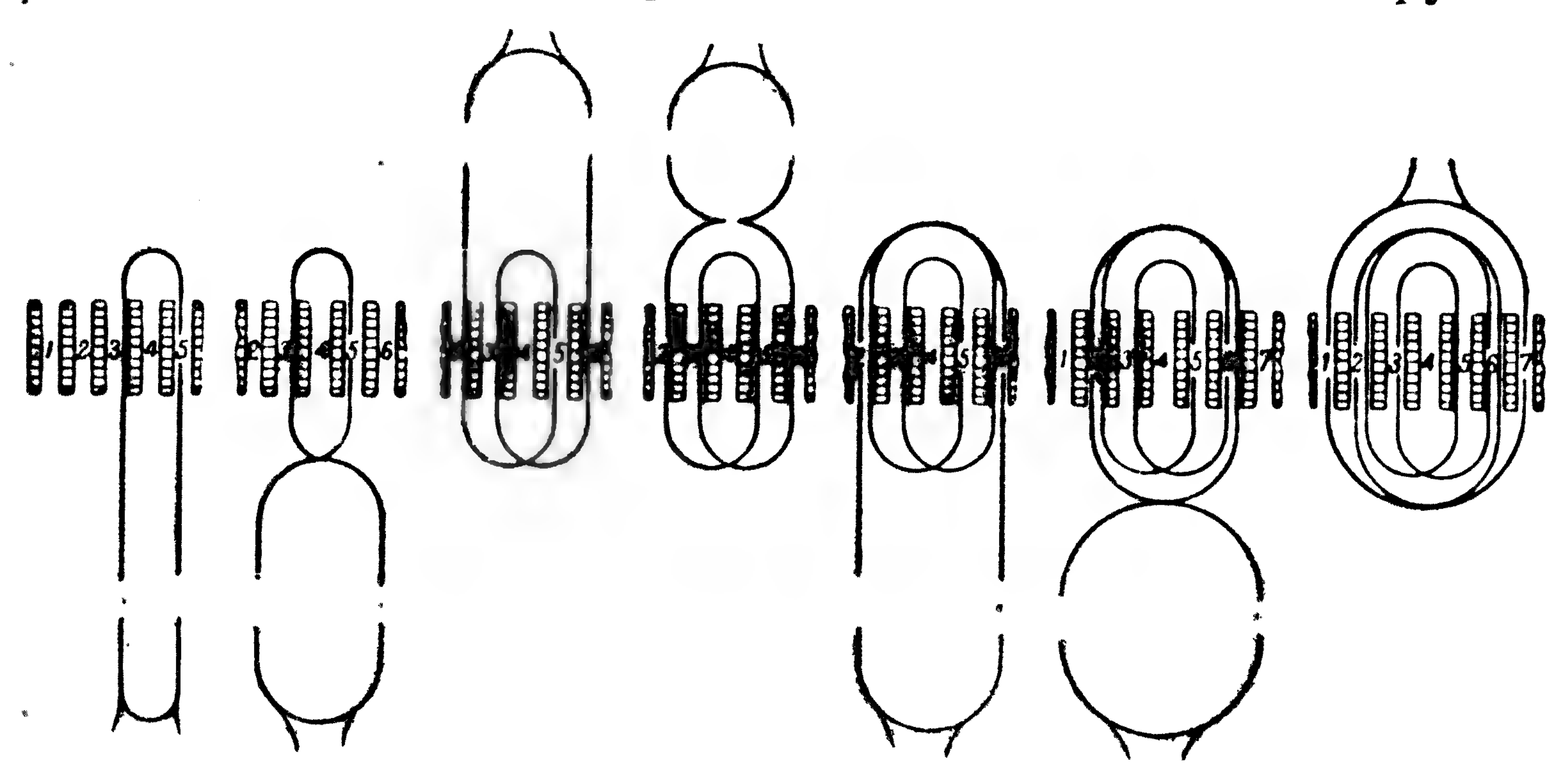


Рис. 3-25. Обмотка по способу „мотка"

Статоры малых машин (до 1 *квт*) с двухслойной обмоткой обматываются способом, отличным от описанных выше. Первые секции обмотки этих статоров закладывают сразу обеими сторонами, так как если оставить вторые стороны секций незаложенными, то при малых диаметрах расточки статора дальнейшая укладка обмотки становится невозможной. Поэтому первые секции (число их равно шагу секций по пазам) закладывают обеими сторонами на дно пазов. Далее следуют секции, укладываемые одной стороной на дно, а второй — на верх паза. Последние секции лежат обеими сторонами вверху паза. Некоторая несимметрия этой обмотки практически допустима.

Обмотка выполняется как «всыпная» заранее намотанными секциями из проводов ПЭЛ, ПЭЛШО или ПЭВ или непосредственно вручную.

Однослойная обмотка малых статоров с концентрическими катушками, распространенная в малых однофазных двигателях, выполняется часто по способу «мотка». Этот способ, как видно из рис. 3-25, заключается в последовательном переворачивании и укладке через прорезь паза по частям длинной катушки (мотка), содержащей требуемое число витков.

3-15. ПРОТЯЖНАЯ ОБМОТКА

Обмотку выполняют протяжкой провода через пазы. Изоляцию паза выполняют в виде гильзы. Для машин с напряжением до 500 *в* с изоляцией класса А нужна гильза, состоящая из электрокартона и лакоткани. Толщина стенки 1 *мм* при 500 *в* и 0,6 *мм* при 380 *в*. Для машин с напряжением 3 300—6 600 *в* и для машин с изоляцией класса В применяются прессованные миканитовые гильзы. Толщина стенки 1,8 *мм* при 3 300 *в*, 2,5 *мм* при 6 600 *в*.

Обмотка может выполняться из круглого провода (ПБД, ПСД) или из провода прямоугольного сечения, дающего лучшее заполнение паза. Для сечений больше 16 $мм^2$ применяется многожильный провод прямоугольного сечения (марок ЛВОО и ЛВДО), облегчающий протяжку и укладку лобовой части.

Пазы, в которые должна лечь сторона наматываемой катушки, заполняются стальными шлифованными спицами, диаметр которых равен диаметру провода с изоляцией плюс 0,05—0,1 *мм*. При намотке проводом прямоугольного сечения паз заполняется деревянными брусками по размеру провода. Отмеряют кусок провода длиной, необходимой для намотки одной катушки. Если эта длина получается слишком большой, то для ускорения намотки берут половину длины (с последующей пайкой). Работу ведут два обмотчика, находящиеся по обе стороны статора. Первый обмотчик, находящийся со стороны, где будут произведены соединения между катушками и переходы из слоя в слой катушки (обычно сторона контактных колец — передняя), зачищает изоляцию провода на длину, несколько бо̀льшую длины активной стали, и, вынув спицу № 1 в первом пазу, пропускает конец провода на заднюю сторону. Второй обмотчик принимает конец и протягивает провод на свою сторону. Провод должен быть предварительно натерт па-

рафином или тальком. Протянутый провод укладывается в круг в специальный ящик, после чего второй обмотчик вынимает спицу № 1 следующего паза и просовывает конец провода первому обмотчику. Тот вытягивает его на свою сторону, также укладывая провод в круг.

Порядок дальнейшей намотки связан с напряжением между витками и формой головки катушки. Желателен такой порядок намотки, который дает наименьшие напряжения между соседними витками. Этому требованию удовле-

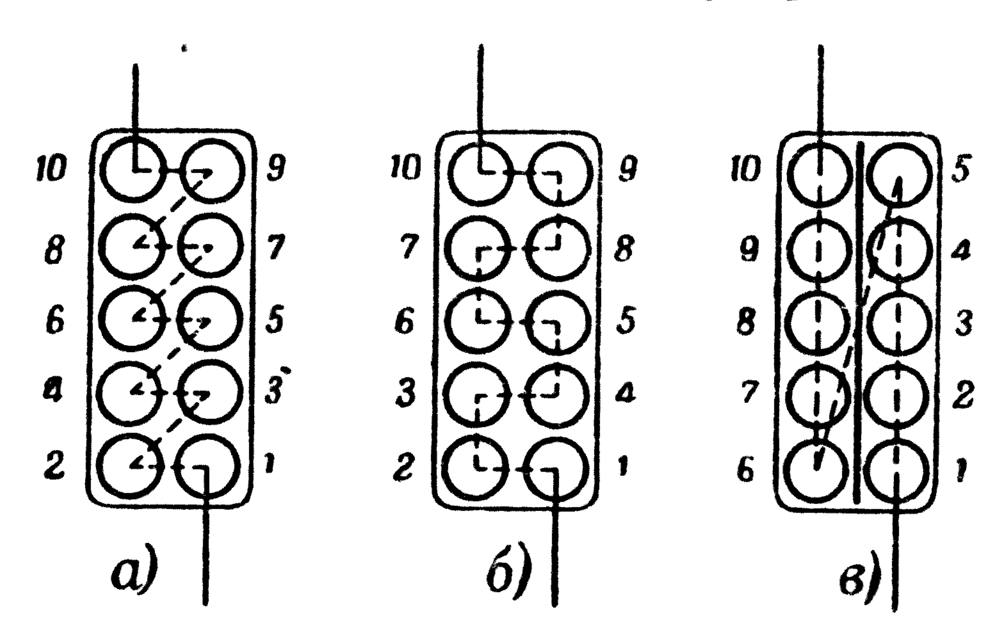


Рис. 3-26. Порядок намотки.

творяет поперечная зигзагообразная последовательность укладки (рис.3-26,*а*). Поперечная укладки по рис. 3-26,*б* дает большие напряжения, так как рядом окажутся витки *1* и *4*, в то время как при первой укладке рядом лежат витки *1* и *3*. Продольная укладка по рис. 3-26,*в* дает еще более высокие напряжения и допускается у машин высокого напряжения при наличии прокладки между слоями. Для машин с напряжением между витками более 25 *в* прокладки между слоями кладутся при любом порядке укладки.

После укладки первого слоя (горизонтального при поперечной и вертикального при продольной укладке) первый обмотчик делает переход во второй слой. Переход тщательно изолируется лакотканью.

Для укладки лобовой части катушек применяются шаблоны (рис. 3-27). Шаблоны применяются для намотки нижних (отогнутых) катушек (*а*) и верхних (прямых) катушек (*б*).

При частичном ремонте — замене одной-двух катушек — применяются упрощенные шаблоны в виде кулачков (*г*), хвостовая часть которых вставляется в свободные пазы, соседние с обматываемыми.

Обычно в соответствии с числом пазов на полюс—фазу катушечные группы состоят из нескольких катушек, лежащих одна внутри другой. Первой наматывают внутреннюю катушку, лобовую часть которой наматывают по шаблону, а для намотки остальных катушек на намотанную лобо-

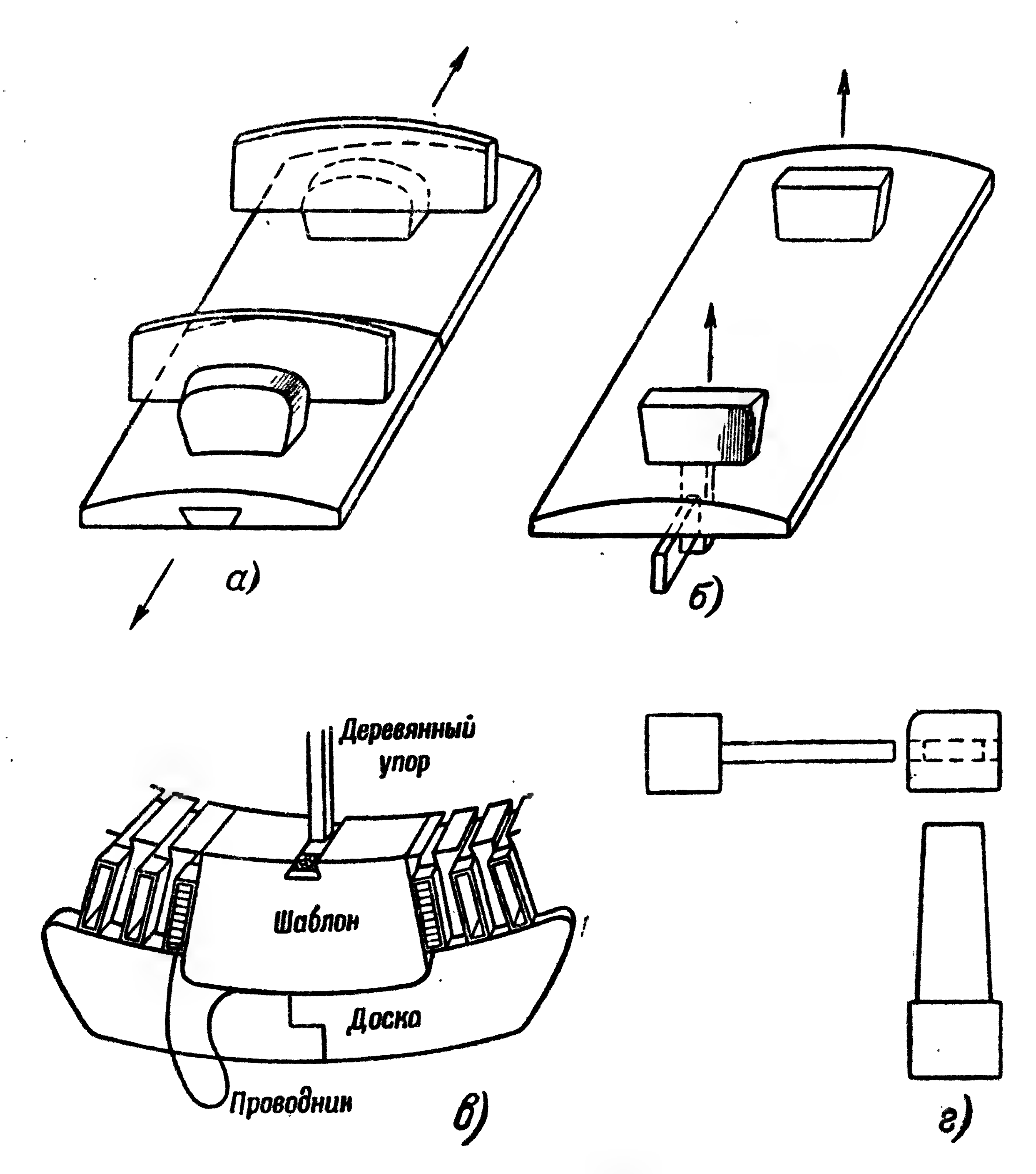


Рис. 3-27. Шаблоны для обмотки впротяжку.

вую часть ставят дистанционные прокладки из электрокартона. После укладки последующей лобовой части прокладки вынимаются, образуя расстояние для изоляции, крепления и вентиляции головок. При намотке головок и выполнении соединений должны быть выдержаны расстояния, указанные в табл. 3-4 и на рис. 3-28. Изоляция головок показана на рис. 3-29. Для машин до 500 *в* эта изоляция производится киперной лентой вполуперекрытие

Каждую катушку группы обматывают лентой, начиная от торца сердечника (обматывая выступающую часть гильзы, если она имеется) до конца колена. Середину головок группы обматывают общей киперной лентой. Конец

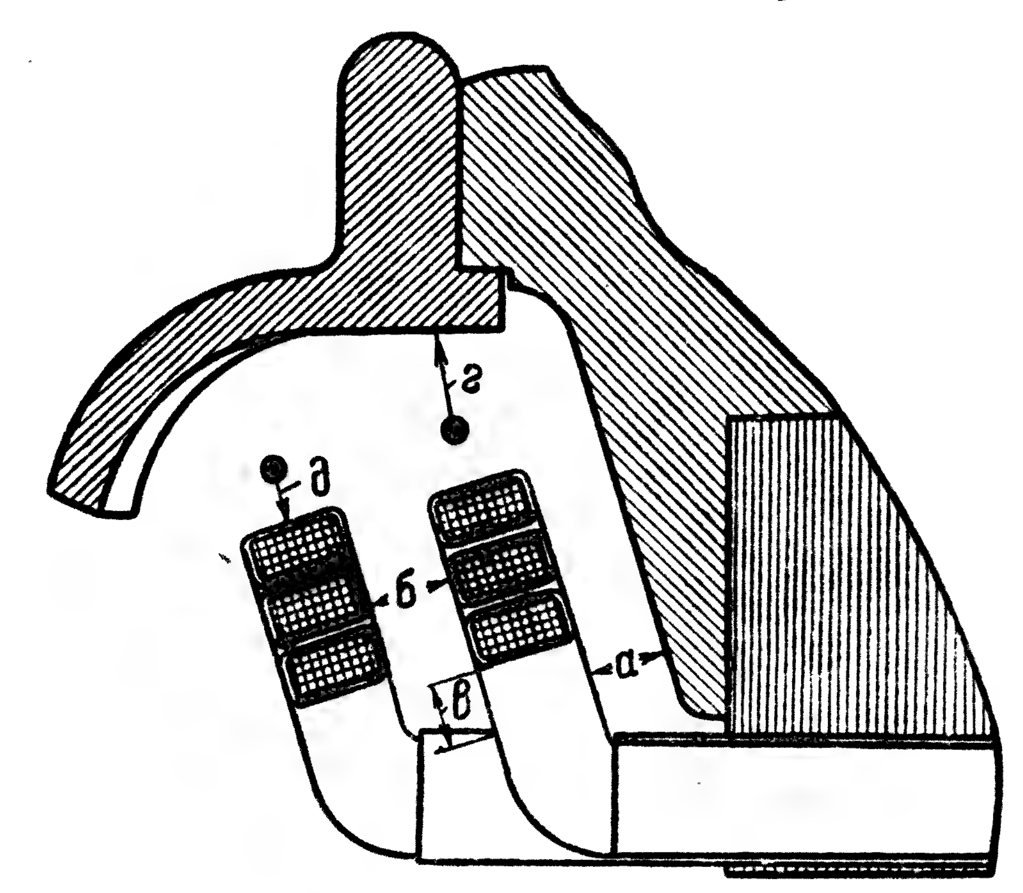


Рис. 3-28. Изоляционные расстояния.

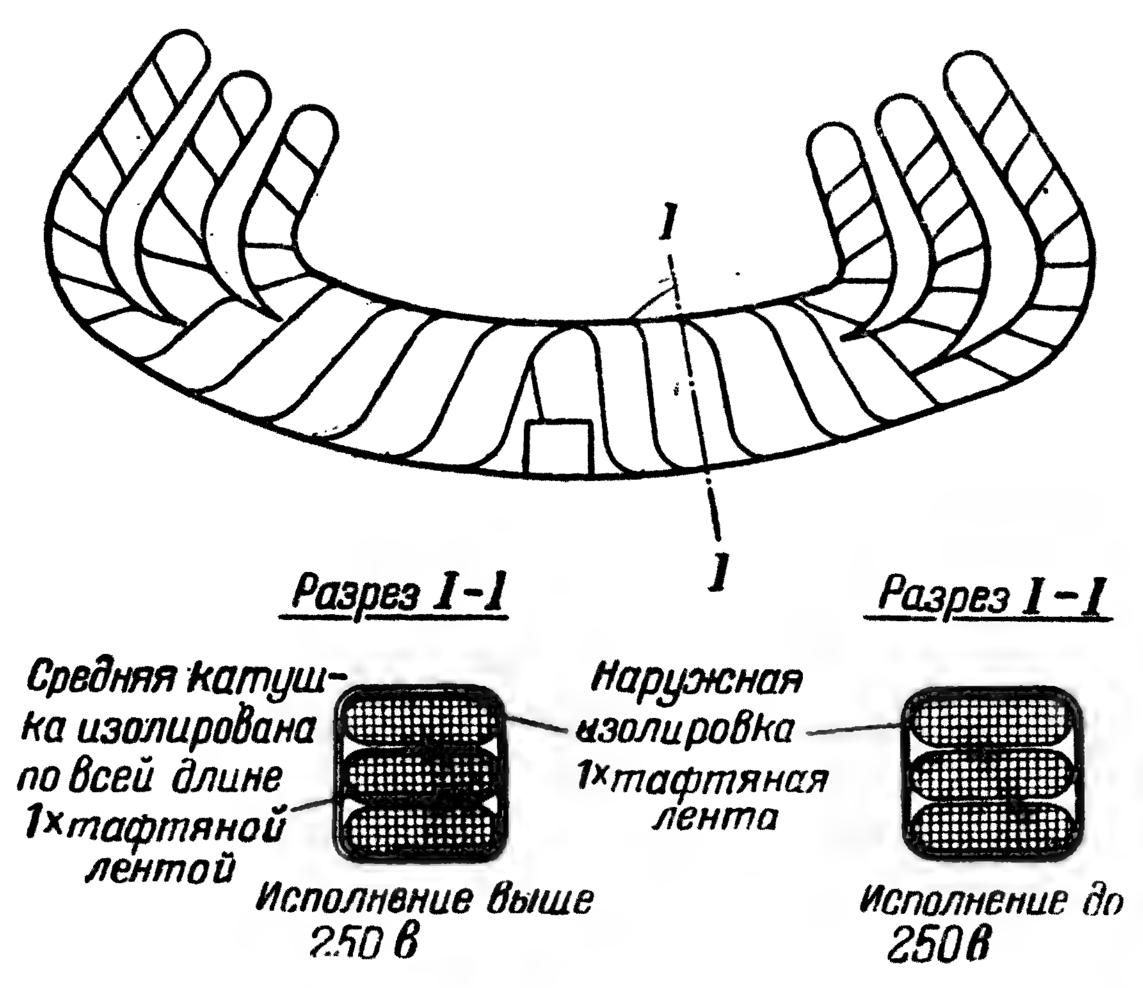


Рис. 3-29. Изоляция лобовых частей на 250 *в*.

ленты пришивают к головке. Переходы между катушками, случайные пайки в головках, начало и конец группы, межгрупповые соединения изолируют вполуперекрытие одним слоем лакоткани и одним слоем киперной ленты.

Таблица 3-4

Минимальные изоляционные расстояния

Напряжение, *в*	Расстояние, *мм*					Примечание
	А	*Б*	*В*	*Г*	*Д*	
0—500	10	8	3	5	—	Расстояния см. рис. 3-24
500—1 000	12	10	4	5	—	
3 000—3 000	18—25	16	8	10	5	
6 000—6 600	32—45	25	10	15	10	

Для напряжения 1 000—6 600 *в* изоляция головок показана на рис. 3-30. В зависимости от напряжения головку катушки разбивают на отдельные пучки, изолированные одним слоем лакоткани вполуперекрытие. Обычно количество пучков соответствует количеству слоев провод-

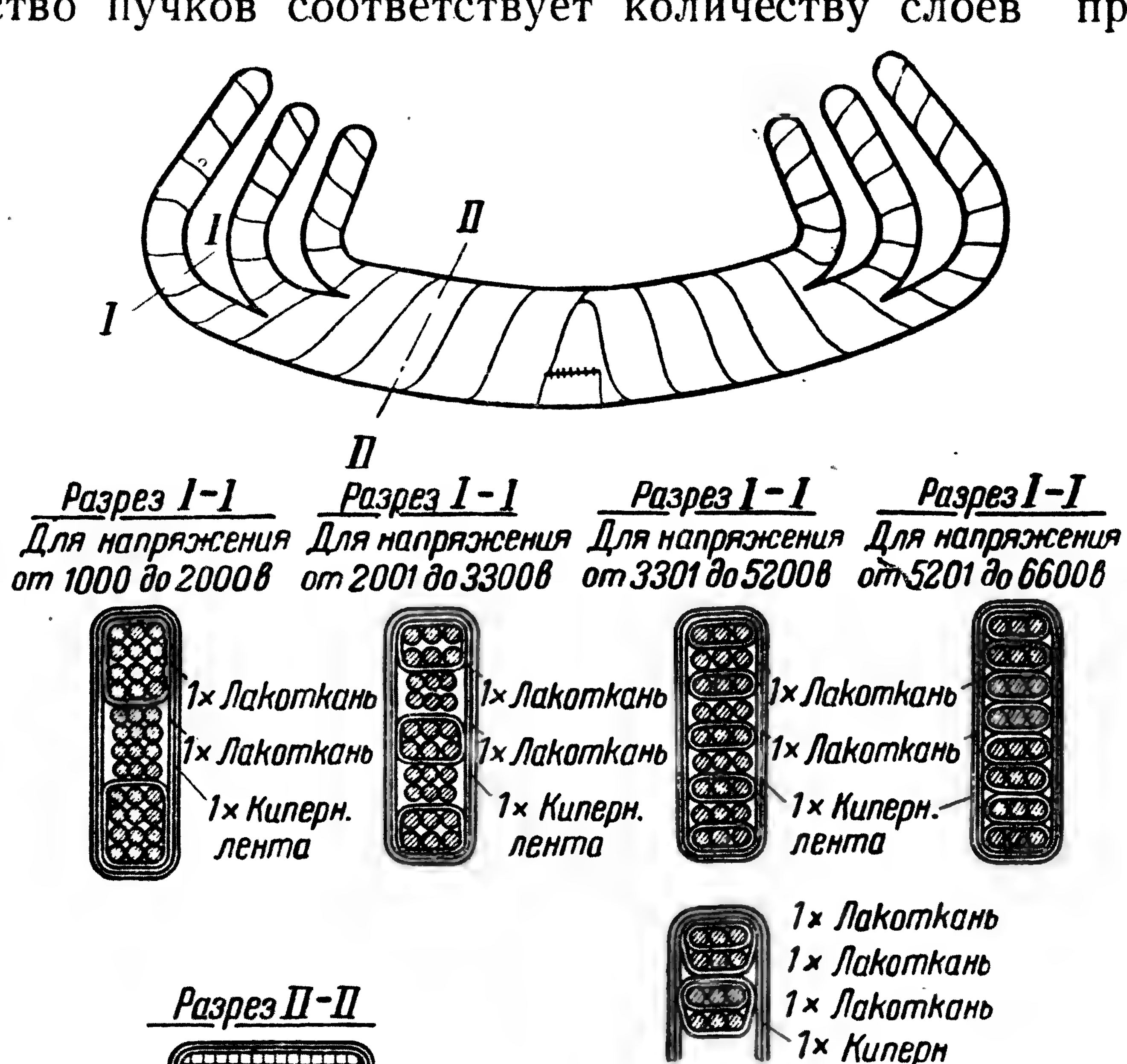


Рис. 3-30. Изоляция лобовых частей на 1 000 — 6 600 *в*.

ников, отделенных прокладкой в пазу. Головку катушки в целом изолируют лакотканью вполуперекрытие один слой при напряжении 1 000—3 000 *в* и два слоя при напряжении 3 300—6 600 *в*. Изолируют по всей длине головки с заходом на гильзу. Поверх лакоткани от торца сердечника до конца колена кладут киперную ленту. Середину головки группы изолируют общей киперной лентой. Переходы между катушками, случайные пайки изолируют лакотканью (один слой при напряжении 1 000—3 300 *в*, два слоя при 3 300—6 600 *в*) и одним слоем киперной ленты. Начало и конец группы изолируют лакотканью (один слой при 1 000—2 000 *в*, два слоя при 2 000—3 000 *в*, три слоя при 3 300—6 600 *в*) и одним слоем киперной ленты. Изолировка соединений между группами производится в соответствии с табл. 3-5.

Таблица 3-5

Изоляция соединений и выводов. Количество слоев вполуперекрытие

Напряжение, *в*	Соединения		Выводы	
	лакоткань	киперная лента	лакоткань	киперная лента
До 500	1	1	1	1
Свыше 500 до 1 000	1	1	2	1
» 1 000 » 2 000	2	1	3	1
» 2 000 » 3 000	3	1	4	1
» 3 000 » 3 300	4	1	4	1
» 3 300 » 5 200	5	1	5	1
» 5 200 » 6 600	6	1	6	1

Следует иметь в виду, что в таблице указана максимальная толщина изоляции, соответствующая минимальным расстояниям *Г* и *Д* (табл. 3-4). Если конструкция машины позволяет получить большие расстояния *Г* и *Д*, то изоляция соединений может быть ослаблена. Скрепление головок показано на рис. 3-31. Соединения между группами должны быть тщательно прибандажированы к головкам и между собой (через прокладки).

Пазовые гильзы, применяемые при обмотке впротяжку (миканитовые для машин высокого напряжения и электрокартон с лакотканью для машин низкого напряжения) изготовляются путем обертывания изоляционным материалом оправки, имеющей форму паза и состоящей из

двух половин клиновидной формы. Перед началом клинья раздвигают, а по мере навертывания слоев подколачивают внутрь до получения соответствующих пазу размеров. Гильза при этом распирается изнутри и уплотняется.

При намотке миканитовых гильз на оправку сначала кладут 1,5 оборота парафинированной бумаги толщиной 0,08—0,3 *мм*, затем микафолий, каждый слой которого при-

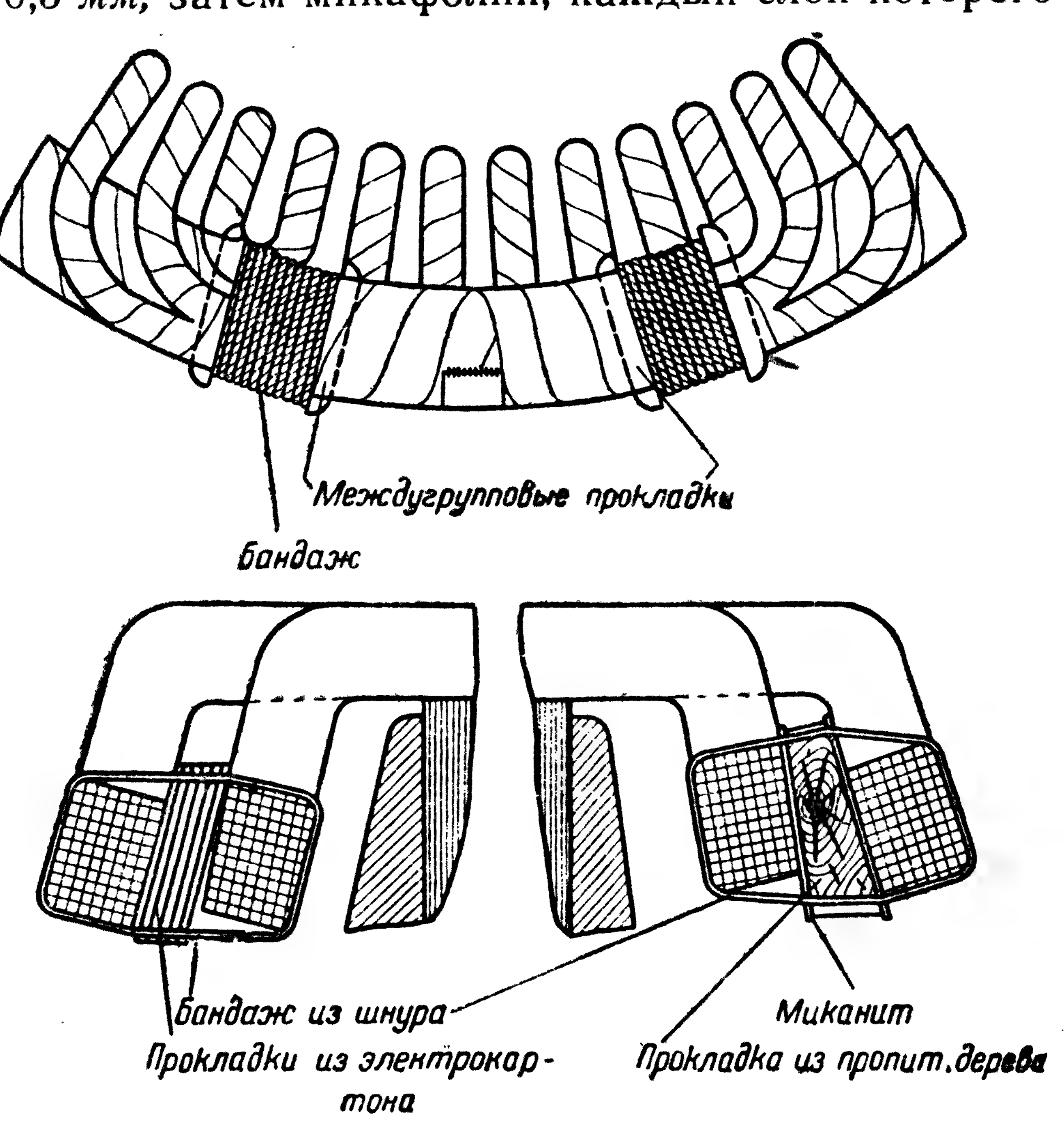


Рис. 3-31. Укрепление лобовых частей.

глаживают горячим утюгом. Общая толщина микафолиевой стенки составляет 1,8 *мм* при 3 300 *в*, 2,5—3,5 *мм* при 6 600 *в*. Поверх микафолия кладут полтора оборота кабельной бумаги. Назначение внутреннего и наружного слоев бумаги — защита гильзы от сдирания слюды при вкладывании гильзы в паз и протягивании проводов через гильзу. После намотки гильзу выпекают между пресс-планками при 140—160° С. Доброкачественная гильза должна иметь гладкие поверхности и при постукивании металлической палочкой издавать звонкий чистый звук.

Изготовление гильз из электрокартона начинают с намотки на оправку 1 оборот электрокартона, смазанного

клеящим лаком; после этого на него туго накручивают требуемое количество слоев лакоткани, промазывают лаком и кладут наружный слой электрокартона. Поверх гильзы кладут временную стяжную ленту, скрепляющую гильзу до ее высыхания. После намотки клинья оправки подбивают внутрь до требуемых размеров (должна быть заранее сделана отметка на клиньях), гильзу подвергают сушке, после чего снимают с оправки.

3-16. ШАБЛОННАЯ ОБМОТКА

Для намотки секций (катушек) шаблонной обмотки в зависимости от выбранного класса изоляции применяются провода (марок ПБД, ПСД, ПДА), а также шины, изолированные лаколентой (лента из лакоткани) или микалентой. Для механизации обмоток шин лентой разработаны специальные станки [Л. 13].

При больших напряжениях между витками (более 25 *в*), а также для крупных секций для усиления электрической и механической прочности изоляции применяют дополнительную витковую изоляцию, накладываемую на изолированные провода. В качестве дополнительной изоляции применяют прокладки (из пропитанного электрокартона или миканита) или (при напряжении между витками более 40 *в*) обмотку всех или части (через один) витков лентой (хлопчатобумажной, стеклянной, миканитовой). Для машин с напряжением 3 300—6 600 *в* для намотки секций могут применяться провода ПБОО, ПББО, а также провода с пленочно-волокнистой изоляцией, не требующие дополнительной изоляции витков. Межвитковая изоляция при одном и том же напряжении между витками зависит от габарита и веса катушки. Чем больше габарит и вес катушки (секции), тем более усиленной берется межвитковая изоляция. Для напряжений 3 000 *в* и выше первые и последние витки обмотки фазы получают усиленную изоляцию.

Изготовление секций-катушек шаблонной обмотки предусматривает ряд операций, целью которых являются придание секции определенной формы и ее изолировка.

Особое внимание уделяется созданию монолитной (без пустот) секции и приданию точных размеров ее прямой части, что обеспечивает плотную (без зазоров) укладку ее в пазы активной стали. Для этой цели правят и опрессовывают прямую часть секции и проводят пропиточные процессы. Технологический процесс изготовления секции зависит от примененных изоляционных материалов, конструкции и размеров секций.

Наиболее просто изготовляются секции-катушки для машин с напряжением до 550 *в* с изоляцией класса А без дополнительной изоляции витков.

Катушки однослойной катушечной обмотки (рис. 3-4) изготовляют путем намотки на шаблонах, изображенных

на рис. 3-32,*а*, для нижней катушки и на рис. 3-32,*б* для верхней катушки. После намотки катушки пропитываются и поступают на изолировку.

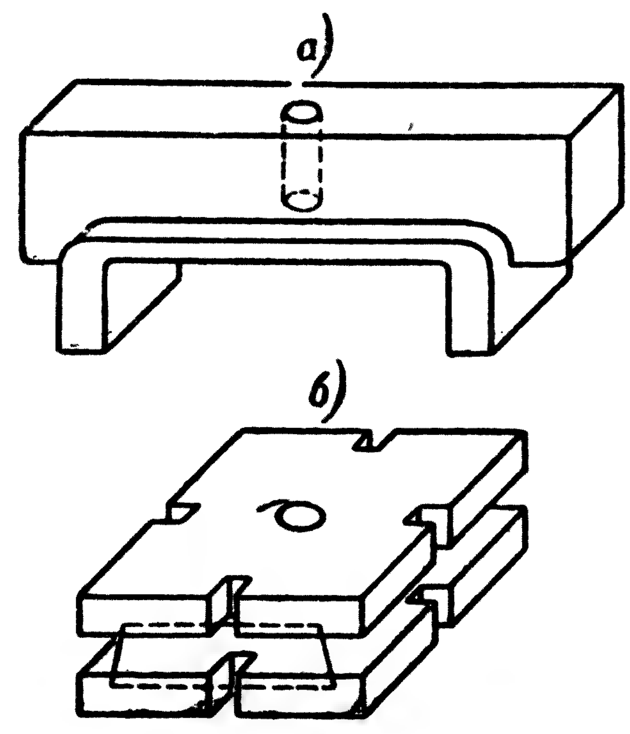


Рис. 3-32. Шаблоны для намотки катушек.

Секции двухслойной обмотки в процессе изготовления проходят следующие операции:

1) намотка лодочки;
2) пропитка лодочки;
3) растяжка лодочки;
4) выгиб (рихтовка) лобовой части и головки;
5) опрессовка прямой части;
6) изолировка секции.

Секции крупных машин высокого напряжения, имеющие дополнительную витковую изоляцию, проходят при изготовлении следующие основные операции:

1) намотка лодочки;
2) прокладка между витками бумаги, смазанной клеящим лаком для склейки витков, без чего растяжка секций большого габарита затруднительна;
3) первая опрессовка;
4) растяжка;
5) выгиб лобовой части;
6) разделение витков и наложение дополнительной витковой изоляции;
7) вторая опрессовка;
8) компаундировка (для класса В) или пропитка (для класса А);
9) третья опрессовка (для класса В);
10) секция поступает на общую изолировку.

Намотка лодочки ведется на шаблонах (из стали твердого дерева, фибры), изображенных на рис. 3-33.

Шаблоны (рис. 3-32 и 3-33) должны быть сконструированы так, чтобы в процессе намотки можно было ударами молотка через фибровую пластину уплотнять и править секцию. В условиях ремонта формы шаблонов устанавливаются по старой секции после снятия общей изоляции.

При снятии старой изоляции следует обратить внимание на порядок намотки, место расположения выводов, общую и витковую изоляции всех участков секции.

Радиус концевых загруглений, огибаемых проводом при намотке, не должен быть слишком малым во избежание появления трещин в проводе.

Растяжку небольших секций можно производить при помощи приспособления, приведенного на рис. 3-34а. Крупные секции растягивают в аналогичном приспособле-

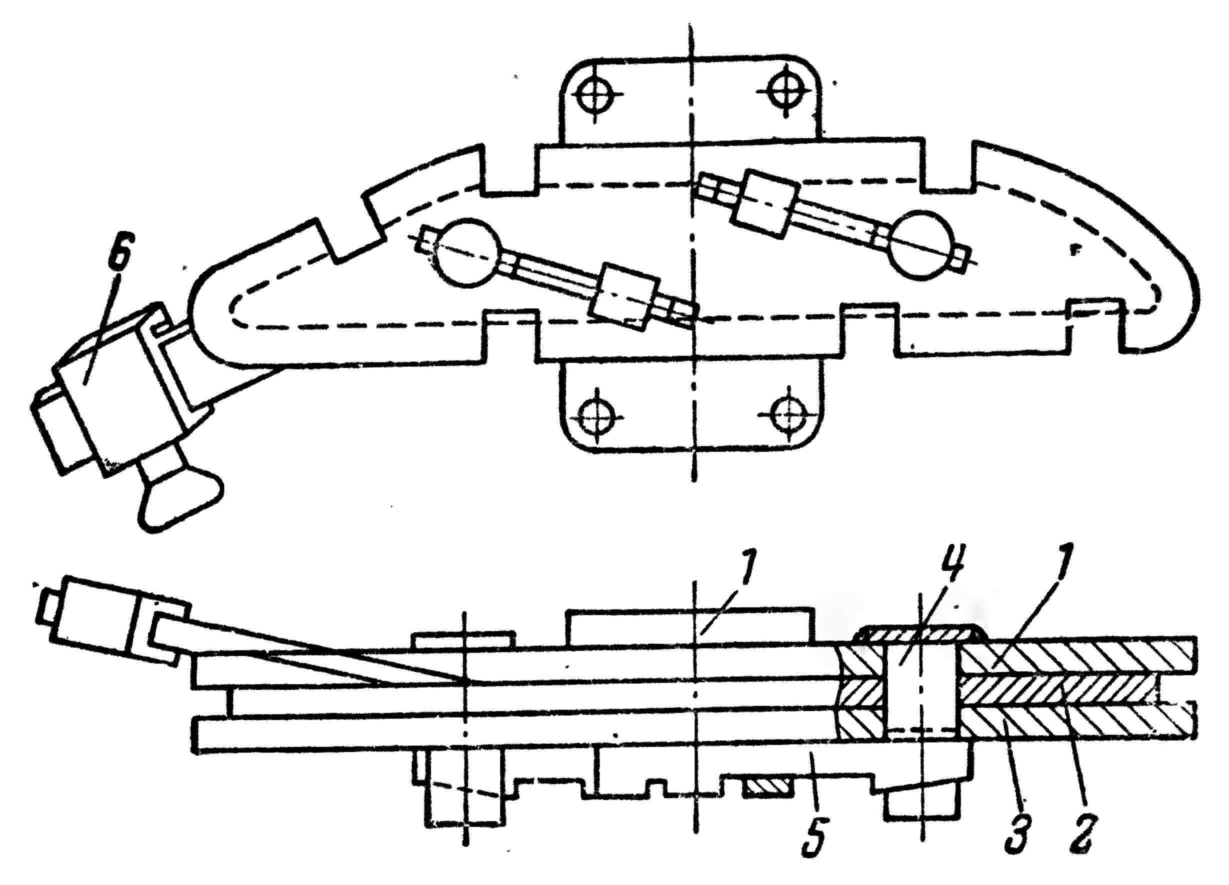


Рис. 3-33. Шаблон-лодочка для намотки секций двухслойной обмотки

Рис. 3-34а. Растяжка секций.

Рис. 3-34б. Приспособление для намотки и растяжки секций.

нии, но с механическим приводом (рис. 3-34б). Приспособление (рис. 3-34б) служит одновременно для намотки лодочки. Перед растяжкой секция должна быть скреплена

временной обмоткой киперной лентой или слоем бумаги, смазанной клеящим лаком.

В зависимости от формы головки перед растяжкой может потребоваться сжатие головки между двумя деревянными (фибровыми) пластинами (рис. 3-35), при помощи которых могут быть приданы нужный размер и угол наклона головки. Выгиб лобовой части производят осаживанием секции в канавку шаблона, имеющую нужную кривизну (рис. 3-36).

Перед выгибом лобовую часть обматывают временно киперной лентой. Опрессовку прямой части секций, пропитанных лаками и не имеющих миканитовой изоляции, можно производить без подогрева—холодная опрессовка. Секции крупных машин с изоляцией витков микалентой и пропиткой в битуме (компаундировка) во избежание появления трещин в изоляции проходят горячую опрессовку прямой части.

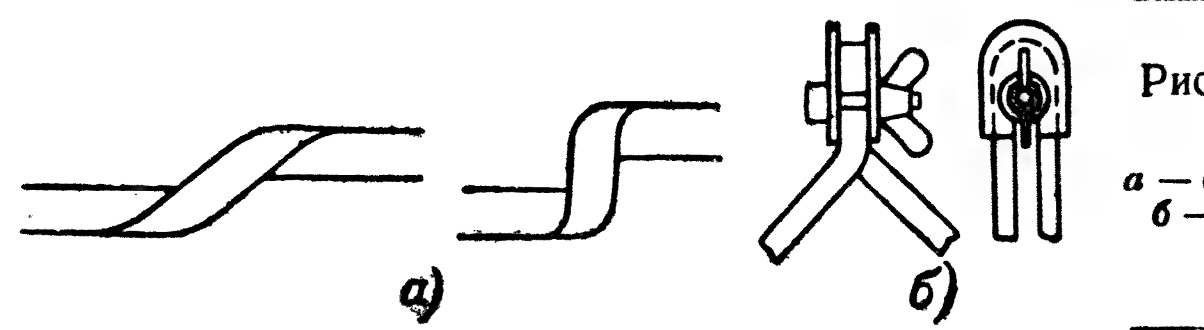
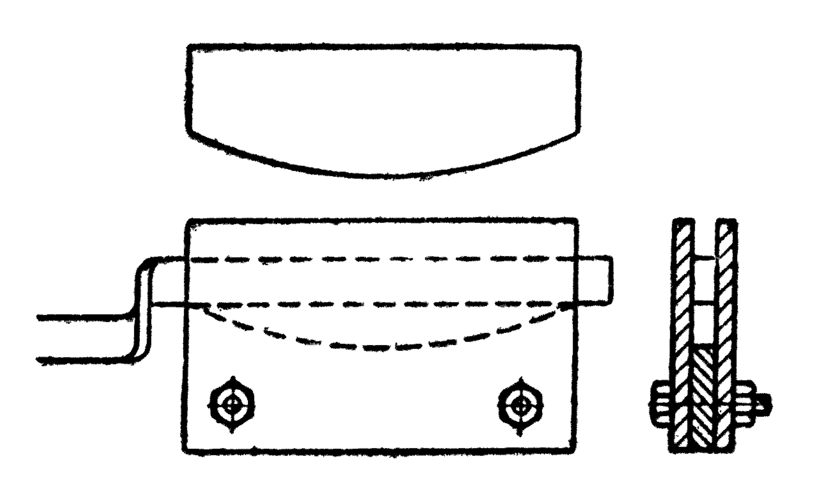


Рис. 3-35. Правка головки.
а — формы головки; *б* — приспособление для правки.

Перед опрессовкой секцию временно обматывают «вразбежку» лентой и обертывают несколькими оборотами телефонной бумаги.


Рис. 3-36. Шаблон для гнутья лобовой части.

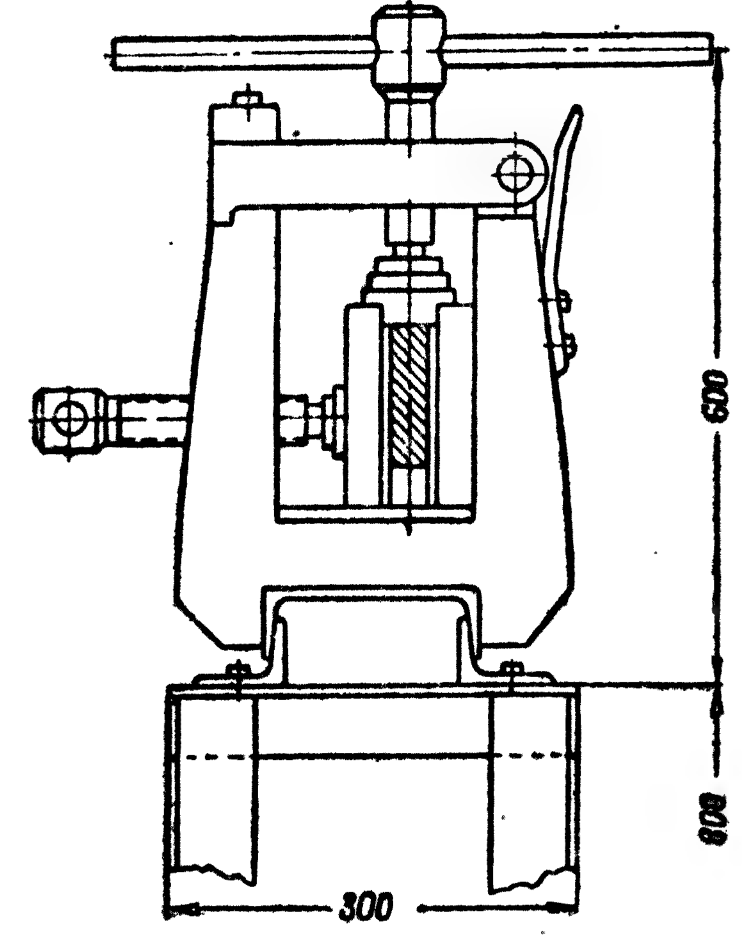


Рис. 3-37. Пресс для секций.

Опрессовка производится плитами, обогреваемыми паром или электричеством, в прессе (рис. 3-37). Необходимая мощность 150—200 *вт* на 100 *мм* длины плиты.

Контрольные планки не дают возможности перепрессовать секцию и повредить тем самым ее изоляцию. Прессуют при температуре 100—105° С. Секцию в течение 10—30 *мин* прогревают, после чего дают давление сначала боковое, а затем вертикальное.

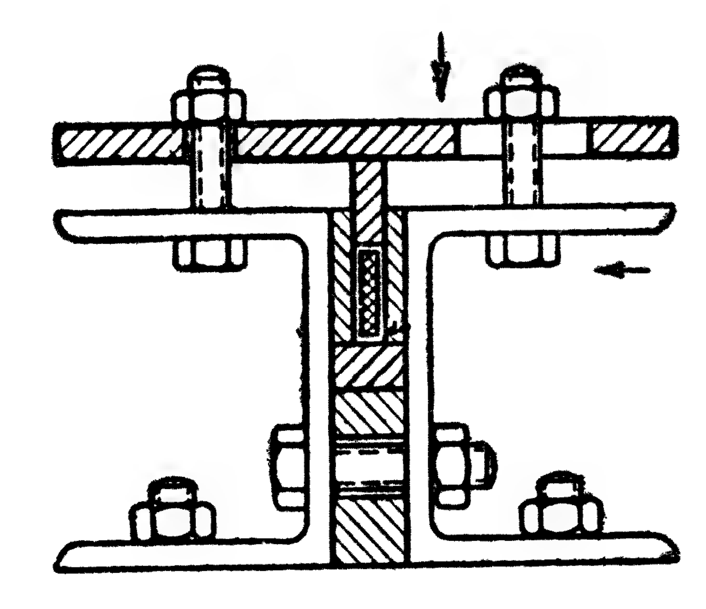
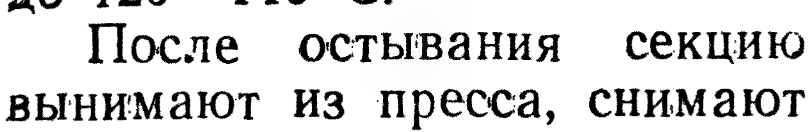


Рис. 3-38. Приспособление для опрессовки.

Секцию выдерживают под давлением 10—15 *мин,* затем в паровые плиты пускают воду для охлаждения.

В условиях ремонта можно применять упрощенное приспособление по рис. 3-38. Для производства горячей опрессовки приспособление нагревают до закладки в него секций до 120—140° С.



После остывания секцию вынимают из пресса, снимают бумагу и временную обмотку, удаляют выдавленный в углах лак (или битум, если вместо пропитки производится компаундировка), и секция поступает на изолировку.

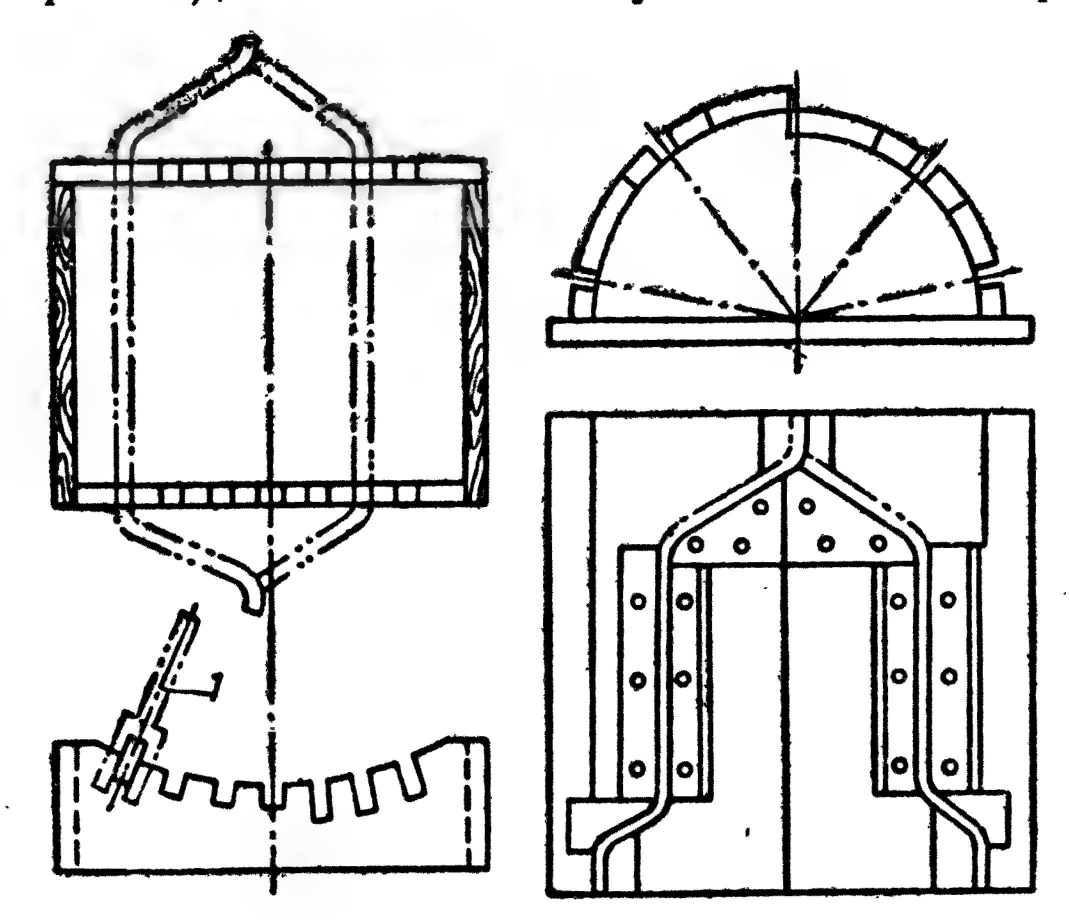


Рис. 3-39. Макет для формовки секций (*1* — вилка для рихтовки).

До нанесения общей изоляции крупные секции и секции из провода большого сечения следует подвергнуть окончательной рихтовке (формовке) на деревянном макете или шаблоне (рис. 3-39), повторяющем форму части статора (ротора).

Общая изоляция секций шаблонной обмотки выполняется различно для отдельных участков секций. Различают *изоляцию прямой части, т. е. пазовой части и вылета, лобовой наклонной части, петли (головки) и выводных концов.*

Наиболее сильно изолируется прямая часть. Изоляция лобовых частей, не имеющих непосредственного соприкосновения с корпусом, выполняется более слабой.

Существуют два основных способа изолировки секций. По первому способу прямая часть секции обертывается листовым материалом (лакоткань, микафолий, гибкий миканит), образующим после ряда технологических операций гильзу на прямой части секции. Отсюда название этого типа изоляции—*гильзовая.* Лобовую часть и остальные части секции изолируют лентой из лакоткани, микалентой и т. д., причем между гильзой и ленточной изоляцией на прямой части делают стык в виде обратного конуса (рис. 3-40) для наибольшего удаления его от активной стали. Этот стык является слабым местом этого типа изоляции.

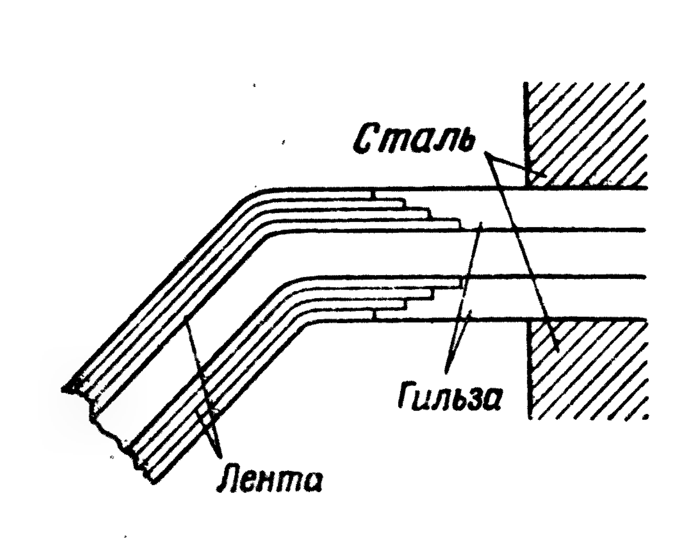


Рис. 3-40. Обратный конус.

По второму способу изоляция секций выполняется лентами (из лакоткани, миканита, хлопчатобумажной и т. д.). Часть слоев ленты обходит при этом всю секцию, а часть слоев наносится только на прямую часть для усиления изоляции этой части. Этот тип изоляции носит название *непрерывной* или *однородной.* Непрерывная изоляция совершеннее гильзовой, так как менее подвержена старению, более влагостойка и химически устойчива. Непрерывная изоляция в машинах напряжением выше 3 *кв* постепенно вытесняет гильзовую. Намотка изолирующих лент производится обычно вполуперекрытие, т. е. каждый последующий виток перекрывает половину ширины предыдущего. Защитные (покровные) слои лент наматывают в стык без перекрытия.

Изолировка секций начинается с изолировки выводных концов, изолируемых на длину до середины лобовой (наклонной) части. Выводные концы прочно подвязывают к секции бандажом из шпагата.

При гильзовой изоляции в первую очередь изолируют

лобовые части. Изолировку ведут лакотканевой лентой для класса А или микалентой для класса В. В месте стыка с гильзой ленту кладут уступами (шириной 8—10 *мм*).

Листовой материал, из которого получается гильза, — микафолий, микаполотно (класс В), лакоткань, бумага (класс А) — вырезают по заранее подогнанной выкройке (рис. 3-41). Выкройку подгоняют так, чтобы получить правильный стык между гильзой и ранее положенными слоями изоляции лобовой части. После этого производится обертывание листовой заготовкой прямой части секции. Микафолий и микаполотно предварительно нагревают для придания гибкости, проглаживают горячим утюгом и протирают тряпкой для разглаживания морщин.

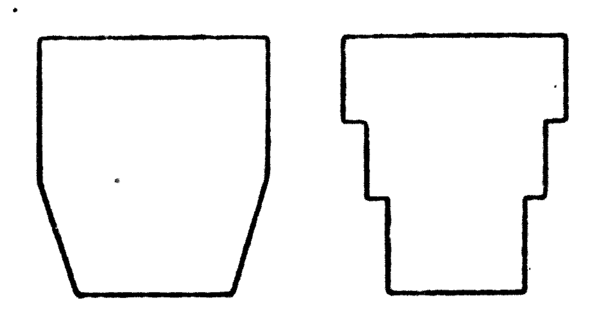


Рис. 3-41. Выкройка заготовки.

После утюжки на гильзу наносят защитный слой из телефонной бумаги и производят горячую опрессовку гильзы. Затем поверх мест стыка наносят слой изоляции лентой из лакоткани, начинающейся на расстоянии 10 *мм* от торца статора и идущий по лобовой части, и защитный слой из тафтяной ленты на лобовой части (один слой вполуперекрытие) с последующей пропиткой и покраской секций.

Гильзы лучшего качества могут быть получены способом обкатки. При этом способе микафолий или микаполотно, бакелизированную бумагу и т. п. наносят на прямую часть путем обертывания вручную, а затем прямую часть секции вращают (станком или вручную) в течение 5—60 *мин* между двумя расположенными под углом, нагретыми до 180—200° С стальными планками с шлифованной цилиндрической поверхностью и прижимают сверху к планкам, шарнирно укрепленным утюгом. При такой обкатке достигается наиболее плотная намотка слоев материала гильзы. Следует отметить, что этот способ изготовления гильзы легко осуществим для незамкнутых катушек (стержней, полусекций), в то время как для обкатки замкнутых катушек необходимы более сложные станки[1]. Небольшие стержни обкатывают, вращая их вручную между двумя шарнирно укрепленными горячими планками, стягиваемыми пружиной. После такой горячей обкатки немедленно производится холодная опрессовка без подогре-

[1] Ф. Т. Сухоруков, Технология обмоточно-изоляционного производства, ГЭИ, 1951.

ва. Этот способ широко распространен при изготовлении роторных стержней асинхронных двигателей.

Непрерывная изоляция выполняется путем нанесения ленты из лакоткани для класса А и микаленты для класса В. Лента, идущая на изоляцию прямых частей, шириной до 45 *мм* вырезается из лакоткани по основе. Для изоляции сгибов и переходов применяется узкая лента, вырезанная из лакоткани под углом 60° к основе. Такая лента лучше обтягивает изогнутые части секции.

При намотке ленту промазывают лаком, что способствует скольжению ленты и тем самым более плотной ее укладке. Катушки, изолированные микалентой, опрессовывают в прессах или компаундируют под давлением. Затем секции обматывают защитной тафтяной или асбестовой лентой. Прямая часть обматывается лентой в стык, лобовая — вполуперекрытие.

При большом числе слоев микаленты (восемь-девять слоев) изолированные секции подвергают вакуумной сушке и компаундировке под давлением.

При небольшом числе слоев микаленты (один-два слоя) может быть применен обычный процесс сушки — пропитки с последующей горячей опрессовкой прямой части.

Из приведенного выше описания следует, что технологический процесс изготовления секций шаблонной обмотки машин высокого напряжения (3 000 *в* и выше) достаточно сложен и поэтому изготовление секций обмотки таких машин в ремонтном цехе следует производить лишь при условии невозможности получения запасных комплектов секций от завода-изготовителя или от специальной ремонтной организации.

При выборе способа изоляции секций в условиях ремонта следует учитывать, что для получения хорошей непрерывной изоляции с большим числом слоев микаленты (машины высокого напряжения) необходима компаундировочная установка, в то время как гильзовая изоляция может быть выполнена при помощи относительно простых приспособлений.

Секция с гильзовой изоляцией всегда может быть уложена в пазы вместо секции с непрерывной изоляцией, так как требующаяся для данного напряжения толщина гильзовой изоляции несколько меньше, чем непрерывной. Объясняется это различием в конструкции изоляции и различной технологией ее выполнения.

Однако величина вылета у гильзовой изоляции требуется большей, чем у непрерывной, так как стык между гильзой и изоляцией лобовой части должен быть удален от активной стали на безопасное по отношению к перекрытию расстояние.

Для напряжения 550 *в* вылет гильзовой изоляции должен быть 20 *мм*, непрерывной 15 *мм*, для 3 150 *в* — соответственно 35 и 25 *мм*; для 6 300 *в* — 60 и 40 *мм*.

Поэтому при решении вопроса о переходе с непрерывной изоляции на гильзовую следует проверить возможность выдержать указанные выше размеры вылета.

Весьма интересным в смысле сокращения сроков ремонта является опыт ремонтных рабочих Закамской ТЭЦ, производивших нанесение и опрессовку новой гильзы взамен поврежденной на одной стороне секции (верхней в пазу) без выемки из паза второй стороны секции.

Изоляция секций для напряжения до 500 *в*

Простейшая изоляция класса А для машин с напряжение до 120 *в*, работающих в сухих помещениях, может быть выполнена хлопчатобумажной лентой следующим образом:

1) секция обматывается одним слоем тафтяной ленты в стык на прямой части и вполуперекрытие на лобовой; 2) производится двух—четырехкратная сушка — пропитка в лаке № 458; 3) прямая часть обматывается вторым слоем тафтяной ленты в стык; 4) производится двукратная сушка и пропитка в лаке № 458 и 460.

Выводные концы до нанесения общей изоляции изолируются чулком или одним оборотом хлопчатобумажной ленты вполуперекрытие.

Этот простейший тип изоляции секции требует изолировки паза коробочкой из двух слоев пропитанного электрокартона, между которым проложен слой лакоткани, и прокладки между секциями в пазу.

Для машин с рабочим напряжением до 500 *в* применяется изоляция из лакоткани или (для наиболее ответственных машин) из миканита, выполняемая по следующим вариантам.

Первый вариант. Класс А: 1) секция проходит сушку — пропитку (в лаке 458) и опрессовку прямой части; 2) лобовая часть изолируется лентой из лакоткани толщиной 0,25 *мм* одним слоем вполуперекрытие; 3) прямая часть изолируется лакотканью («простынкой») толщиной

0,2 *мм* в три-четыре слоя с перекрытием на узкой стороне секции; 4) секция обматывается тафтяной лентой в стык на прямой части и вполуперекрытие на лобовой части; 5) секция проходит сушку — пропитку.

Паз изолируется одним слоем электрокартона (коробочка).

Второй вариант. Класс В:

а) гильзовая изоляция: лобовая часть изолируется микалентой толщиной 0,13—0,17 *мм* в один-два слоя вполуперекрытие. Прямая часть изолируется (опрессовывается) микафолием толщиной 0,2 *мм*—три-четыре слоя. Секция обматывается стеклянной лентой толщиной 0,1—0,2 *мм* в стык на прямой части и вполуперекрытие на лобовой.

б) Непрерывная изоляция: лобовая часть, так же как и в п. «а» прямая часть, изолируется микалентой толщиной 0,13—0,17 *мм* четырьмя слоями вполуперекрытие. Защитная стеклянная лента, так же как и в п. «а». Секция подвергается компаундированию.

Третий вариант. Непрерывная изоляция повышенной нагревостойкости.

Прямая часть: стекломикалента толщиной 0,17 *мм* в два слоя вполуперекрытие, лобовая часть — стекломикалента толщиной 0,17 *мм* — одним слоем вполуперекрытие. Защитный слой — стеклолента 0,1—0,2 *мм* в стык на прямой части и вполуперекрытие на лобовой. Секция пропитывается кремнийорганическим лаком.

Изоляция секций для 3 000—6 000 *в*

Изоляция выполняется следующим образом.

Класс А. Непрерывная изоляция: 1) прямая часть— четыре слоя, лобовая — три слоя лентой черной лакоткани вполуперекрытие; 2) вся секция — один слой хлопчатобумажной ленты вполуперекрытие; 3) опаливается ворс на хлопчатобумажной ленте и производится шестикратная сушка, пропитка в лаке № 460; 4) прямая часть обматывается одним слоем хлопчатобумажной ленты в стык; 5) покраска лаком № 462.

Выводные концы изолируются четырьмя слоями ленты из лакоткани вполуперекрытие и одним слоем хлопчатобумажной ленты.

Класс В. Непрерывная изоляция: 1. Обмотка микалентой толщиной 0,13, шириной 25 *мм* на прямой части, 18 *мм* на лобовой и 12 *мм* на головке.

Число слоев:

	3 000 *в*	6 000 *в*	11 000 *в*	13 000 *в*
Прямая часть	5	8—9	12—13	15
Лобовая часть, головка	4	7—8	11—12	14
Выводы	3	5—6	7	8

2. Один защитный слой прямой части.

3 000 *в*	6 000 *в*	13 000 *в*
Киперная лента в стык	Асбестовая полупроводящая лента в стык	Асбестовая полупроводящая лента в стык

Последовательность технологического процесса: 1) изолировка микалентой; 2) наложение защитного слоя хлопчатобумажной или асбестовой ленты, которая накладывается на прямой части встык, на лобовой части — вполуперекрытие; 3) наложение временного слоя киперной

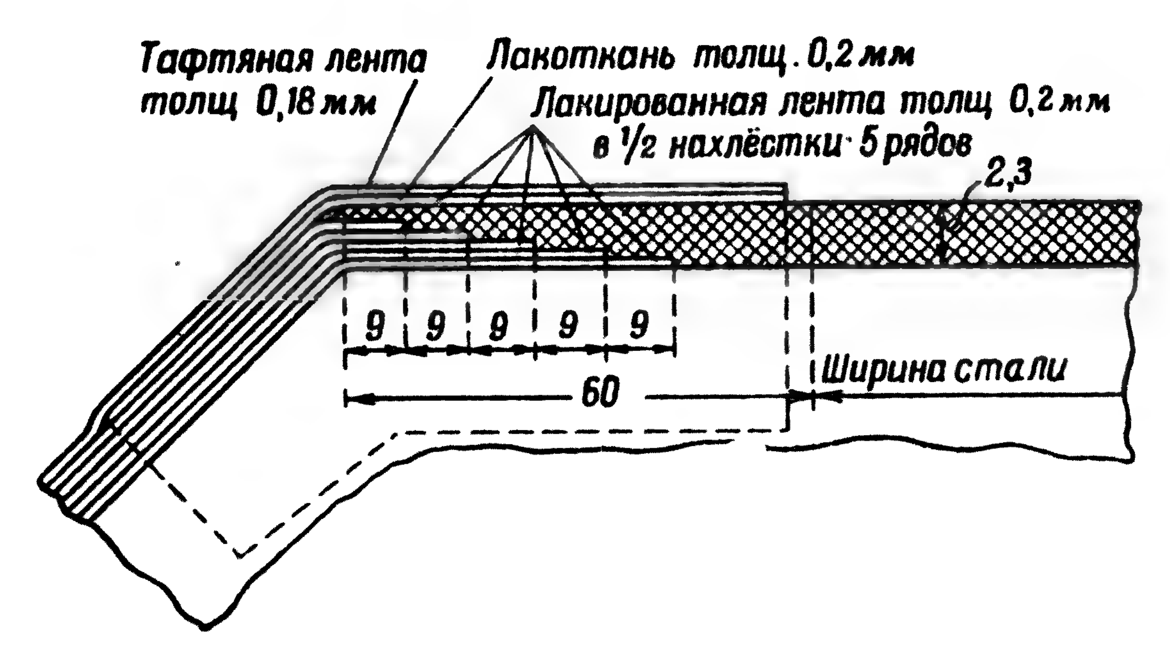


Рис. 3-42. Изоляция перехода пазовой части в лобовую.

ленты вполуперекрытие, который служит только на время компаундировки и после ее окончания удаляется; 4) компаундировка; 5) двукратная покраска лаком № 462.

Если оказывается необходимым доводить сечение секции до заданных размеров путем наложения нескольких (одного-двух) слоев микаленты, то процесс компаундировки проводится вторично.

Класс А — В. Гильзовая изоляция (рис. 3-42): 1) изоляция выводных концов — четыре слоя ленты из лакоткани вполуперекрытие; 2) изоляция головки — два слоя ленты из лакоткани при 3 000 *в*, четыре слоя при 6 000 *в* вполуперекрытие; 3) изоляция сгибов — микалента три слоя при 3 000 *в*, пять слоев при 6 000 *в*; 4) изоляция лобовых частей (между сгибом и головкой) — лента из лакоткани три слоя при 3 000 *в*, микалента пять слоев при 6000 *в*

вполуперекрытие; 5) накатка гильзы из микабумаги толщиной на сторону 1,8 *мм* при 3 000 *в*, 2 5 *мм* при 6 000 *в*; 6) окончательная изоляция, перекрывающая стык,—лента из лакоткани — один слой при 3 000 *в*, два слоя при 6 000 *в* вполуперекрытие, тафтяная лента — один слой вполуперекрытие при 3 000 и 6 000 *в*.

Последовательность технологического процесса: 1) изоляция выводов; 2) изоляция головок; 3) изоляция сгибов; 4) изоляция лобовых частей между сгибом и головкой; 5) изолировка и утюжка прямой части (или обкатка); 6) опрессовка прямой части; 7) окончательная изолировка; 8) пропитка погружением лобовых частей (поочередно) в лак № 462.

Укладка шаблонной обмотки в пазы статора

В первую очередь производят подготовку пазов к укладке, заключающуюся в их тщательной очистке, опиловке заусенцев и прокраске лаком. На дно паза кладут прокладку (электрокартон или миканит 0,3—0,5 *мм*). В паз вставляют «коробочку» из электрокартона. Если секция изолирована асбестовой лентой или имеет защитный слой электрокартона, то изоляция паза не требуется. Если статор имеет кольцевой обмоткодержатель (бандажное кольцо), то последний тщательно изолируют тремя слоями ленты из лакоткани вполуперекрытие и одним слоем киперной ленты для 3 000 *в*, тремя слоями микаленты, четырьмя слоями ленты из лакоткани и одним слоем киперной ленты для 6 000 *в*. Изолированные обмоткодержатели прокрашивают лаком.

На секциях делают отметки, которые при укладке должны совпадать с краями паза. На лобовых частях секций размечают и подвязывают шпагатом дистанционные прокладки.

Если изоляция секции миканитовая, то перед укладкой в пазы для придания гибкости изоляции секции разогревают до температуры 60—70° С либо током, либо в нагревательных шкафах.

Укладку секций больших машин ведут двое рабочих, находящихся по обе стороны статора. Для направления секции в паз служит деревянная вилка. Секцию осаживают в пазах ручником и фибровой прокладкой.

У двухслойных обмоток первые секции (по шагу секции) укладывают только нижними сторонами, для осаживания нижних сторон этих и последующих за ними (укла-

дываемых уже целиком) секций в паз вставляют временный металлический клин. Под него с двух сторон вставляют деревянные клинья. Подколачиванием клиньев секции осаживают на дно паза и в таком положении выдерживают до полного остывания. В пазу, где уложены оба слоя, заколачивают постоянные деревянные клинья. *Лобовые части при укладке рихтуют* ударами ручника через мягкую прокладку, а для больших машин — при помощи домкрата (рис. 3-43). После рихтовки лобовые части каждой секции

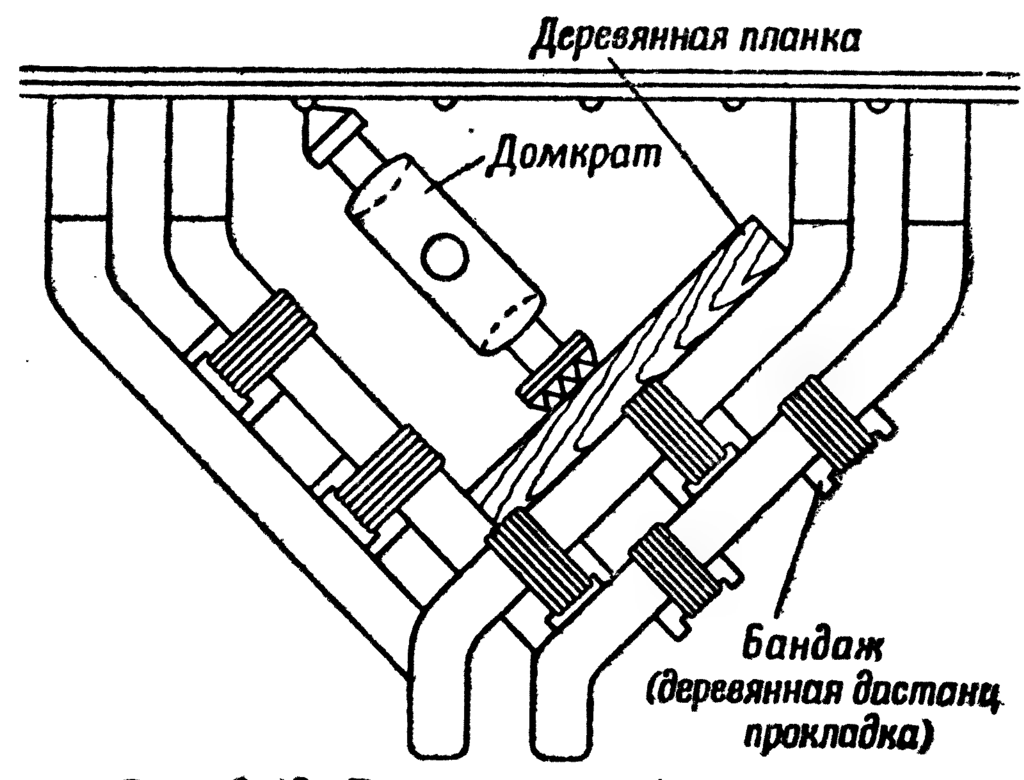


Рис. 3-43. Рихтовка лобовой части.

в горячем состоянии подтягивают шпагатом и подвязывают к кольцу обмоткодержателя.

Наиболее трудной операцией является укладка последних секций по шагу обмотки, которые своими нижними сторонами должны быть уложены под верхние стороны секций, уложенных первыми в самом начале. Количество таких секций зависит от шага обмотки. Для этого секции, верхние стороны которых должны быть подняты из пазов, разогревают вновь током от трансформатора. После прогрева, когда изоляция становится эластичной, верхние стороны этих секций поднимают поочередно из пазов и осторожно подтягивают к поверхности расточки статора киперной лентой. При этом происходит перегиб нагретых секций в головке без поломки изоляции.

После укладки на дно паза последних секций обмотки подняты стороны секций снова разогревают и укладывают на свое место. Уложенные секции соединяют по схеме обмотки, производят пайку и изоляцию соединений, после чего статор пропитывают или окрашивают соответствующими лаками.

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ

РЕМОНТ ЯКОРНЫХ И РОТОРНЫХ ОБМОТОК. РЕМОНТ ОБМОТОК ВОЗБУЖДЕНИЯ

4-1. ОБМОТКИ ЯКОРЕЙ

Секция, укладка, нумерация

Обмотка якоря составляется из секций, имеющих один виток или несколько последовательно соединенных витков. *Секции* (витки) имеют *активные стороны,* которые закладываются в пазы и соединяются при помощи *лобовых частей: передней со стороны коллектора и задней со стороны привода* (рис. 4-1).

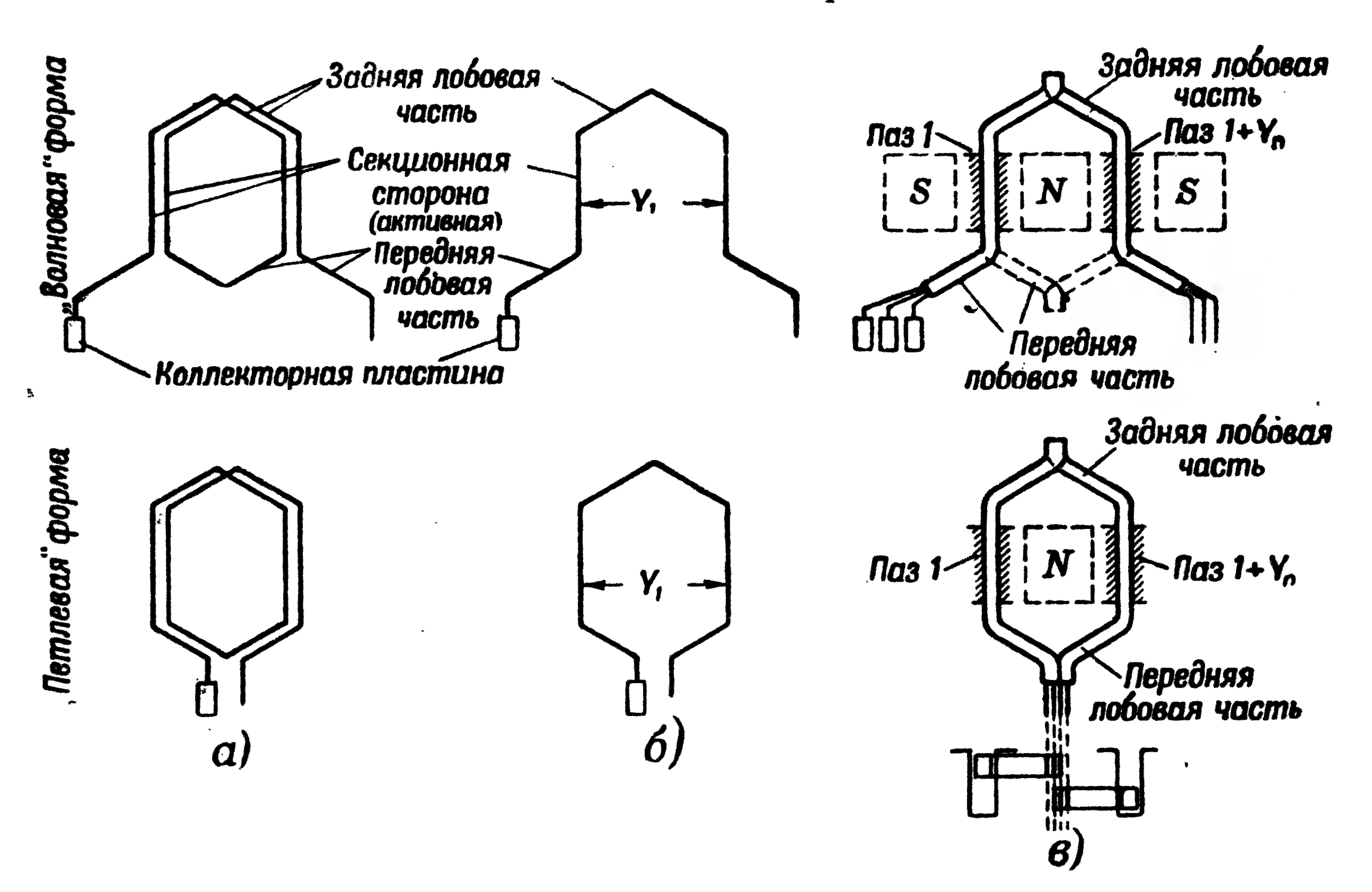


Рис. 4-1. Элементы обмотки якоря.

Соединение секции производится впайкой их концов в коллекторные пластины. *На каждую секцию приходится одна коллекторная пластина.*

Укладка секций в пазы производится таким образом, что одна сторона ее лежит в верхней половине одного паза, а вторая — в нижней половине второго паза. В каждом пазу образуются два слоя, отчего обмотка называется двухслойной. В одном слое в пазу может располагаться одна, две, три и более секционных сторон (рис. 4-2).

Нумерация секционных сторон производится так, что все секционные стороны, лежащие в верхней половине паза, имеют нечетные номера, а в нижней — четные, или наоборот.

Шаг секции. Шагом секции Y_1 называется расстояние между ее активными сторонами (рис. 4-1). Шаг выражается числом пазовых делений $Y_{1п}$ или числом секционных сторон $Y_{1с}$, лежащих между сторонами секции.

Шаг секции должен быть близок к полюсному делению машины. Поясним это положение на следующем примере: машина имеет 37 пазов ($Z=37$) и четыре полюса ($2p=4$). Полюсное деление в числе пазов будет выражаться величиной $\frac{37}{4}=9\frac{1}{4}$. Секция должна быть уложена одной стороной в паз *1*, а второй либо в паз *10*, тогда шаг секции будет равен 9 и укорочен на $^1/_4$ пазового деления, либо в паз *11* и шаг секции в этом случае будет равен 10 и удлинен на $^3/_4$ пазового деления. Укорочение шага более желательно, так как при этом лобовые части получаются короче и экономится медь.

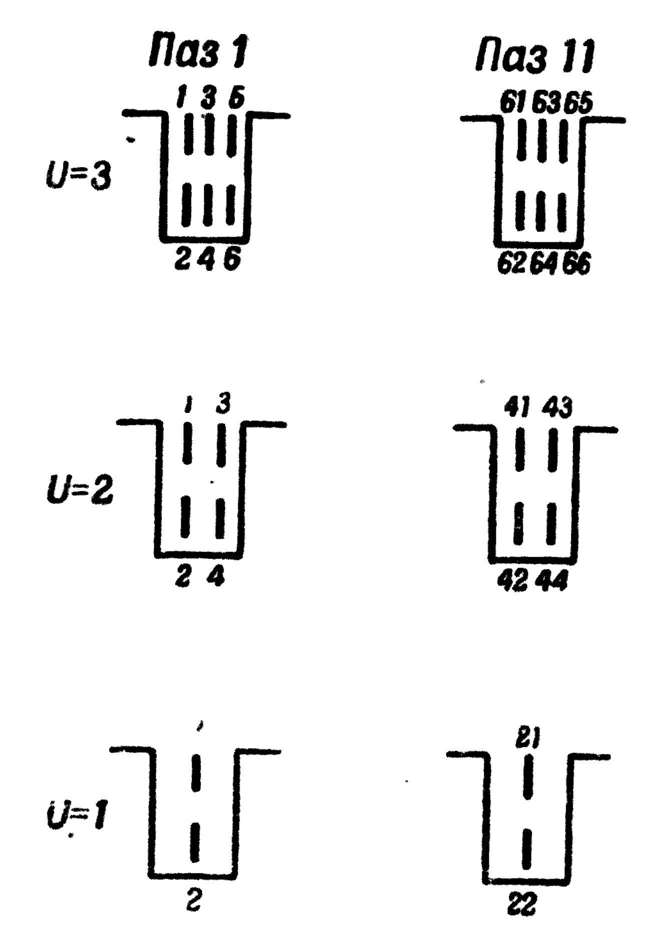


Рис. 4-2. Расположение проводников в пазу.

Если бы машина имела 40 пазов, то полюсное деление содержало бы 10 пазовых делений и секцию можно было бы положить в пазы 1 и $1+10=11$. Такая обмотка называется диаметральной. Однако эта обмотка ухудшает коммутацию и вызывает искрение на коллекторе, что ограничивает ее применение, поэтому следует укоротить шаг секции на одно пазовое деление, т. е. положить ее в пазы *1* и *10*. Вообще желательно применять укорочение шага в пределах до одного пазового деления.

Из приведенных примеров ясен способ определения шага $Y_{1п}$, выраженного числом пазовых делений.

Для того чтобы выразить его числом секционных сторон, лежащих между сторонами секции, достаточно определить, сколько секционных сторон лежит в каждом пазу. Если машина имеет K коллекторных пластин, то столько

же имеется и секций. На паз придется $u=\frac{K}{Z}$ пластин или секций, а секционных сторон в 2 раза больше, т. е. $2u$. Поэтому, если умножить шаг $Y_{1п}$ в пазовых делениях на $2u$ и прибавить единицу, то мы получим шаг $Y_{1с}$, выраженный в секционных сторонах. Прибавление единицы делается для того, чтобы получить нечетный шаг и тем самым достичь перехода из верхнего слоя в нижний. Если в нашем примере число коллекторных пластин K равняется 185, то на паз приходится $2\cdot\frac{185}{37}=10$ секционных сторон. Если шаг $Y_{1п}$ равен 9 пазовым делениям, то в секционных сторонах он составит:

$$Y_{1с}=9\cdot 10+1=91.$$

Секция в этом случае расположится так, как показано на рис. 4-3,*а*. Характерным здесь является то, что секция лежит первой в пазу *1* и первой же она является в пазу *10*. Таким образом, четыре соседние с ней секции также будут лежать в пазах *1* и *10*. Следовательно, шаг по пазам будет для всех пяти секций одинаковым и все пять секций могут быть до укладки в пазы заизолированы вместе и вместе уложены. Группа изолированных вместе секций обмотки называется ***якорной секцией*** или ***якорной катушкой***.

В некоторых случаях применяется ступенчатая обмотка, у которой секции имеют разный шаг по пазам (рис. 4-3,*б*). Такая обмотка состоит из отдельных полусекций, соединяемых пайкой в лобовых частях.

Рассмотрим способы выполнения обмоток.

Петлевая обмотка

Для этой обмотки (рис. 4-4,*а*) характерно то, что при соединении между собой сторон первой секции шаг Y_1 (задний) отсчитывается в одном направлении, а для соединения конца этой секции с началом второй секции шаг Y_2 (передний) отсчитывается в обратном направлении, почему первая сторона второй секции ложится рядом с первой стороной первой секции. Этот обратный шаг придает обмотке петлеобразный характер.

Таким образом, каждая последующая секция ложится рядом с предыдущей, и полный шаг $Y_с$, показывающий, насколько смещаются первые стороны соединяемых сек-

ций, равен двум секционным сторонам. На рис. 4-4,*а* видно, что

$$Y_c = Y_{1c} - Y_{2c} = 2$$

(так как номера рядом лежащих секционных сторон двухслойной обмотки разнятся на 2).

Шаг по коллектору $Y_к$ является вместе с шагом Y_1 основной характеристикой обмотки. Этот шаг позволяет опре-

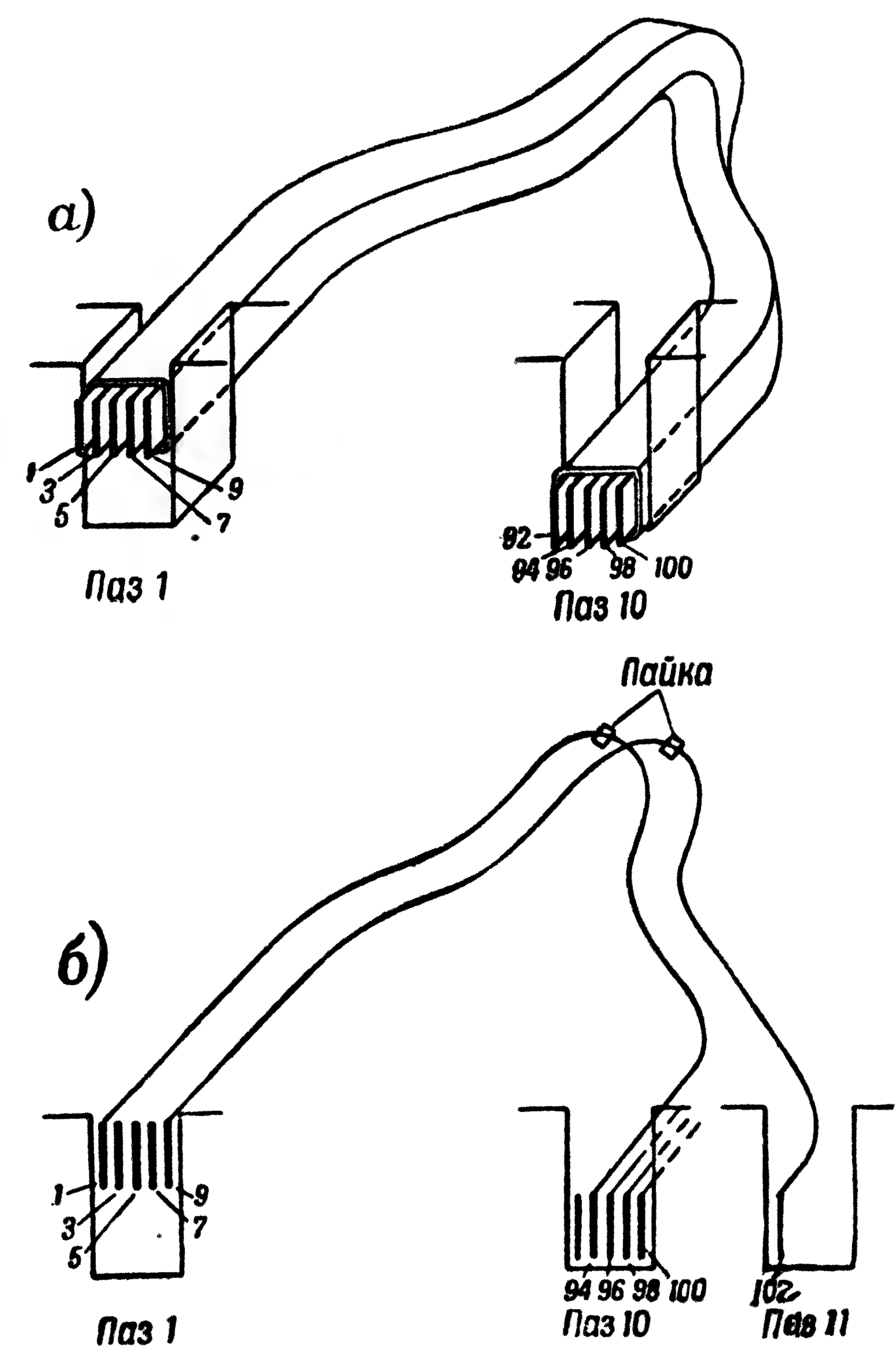


Рис. 4-3. Соединение проводников обмотки.

делить, к каким пластинам следует присоединить начало и конец секции и тем самым к какой коллекторной пластине присоединяется начало следующей секции. Для петлевой обмотки шаг по коллектору $Y_к = 1$.

У петлевой обмотки число параллельных цепей равно числу полюсов. Это записывают равенством $2a = 2p$; здесь $2a$ — число параллельных цепей; $2p$ — число полюсов. Пет-

левая обмотка называется иногда параллельной. Каждая параллельная цепь располагается таким образом, что ее проводники лежат под одной парой полюсов.

Если по какой-либо причине (например, износ подшипников) зазор между якорем и полюсами *1*, *4* (рис. 4-5) будет меньше, чем зазор под полюсами *3*, *2*, то магнитный

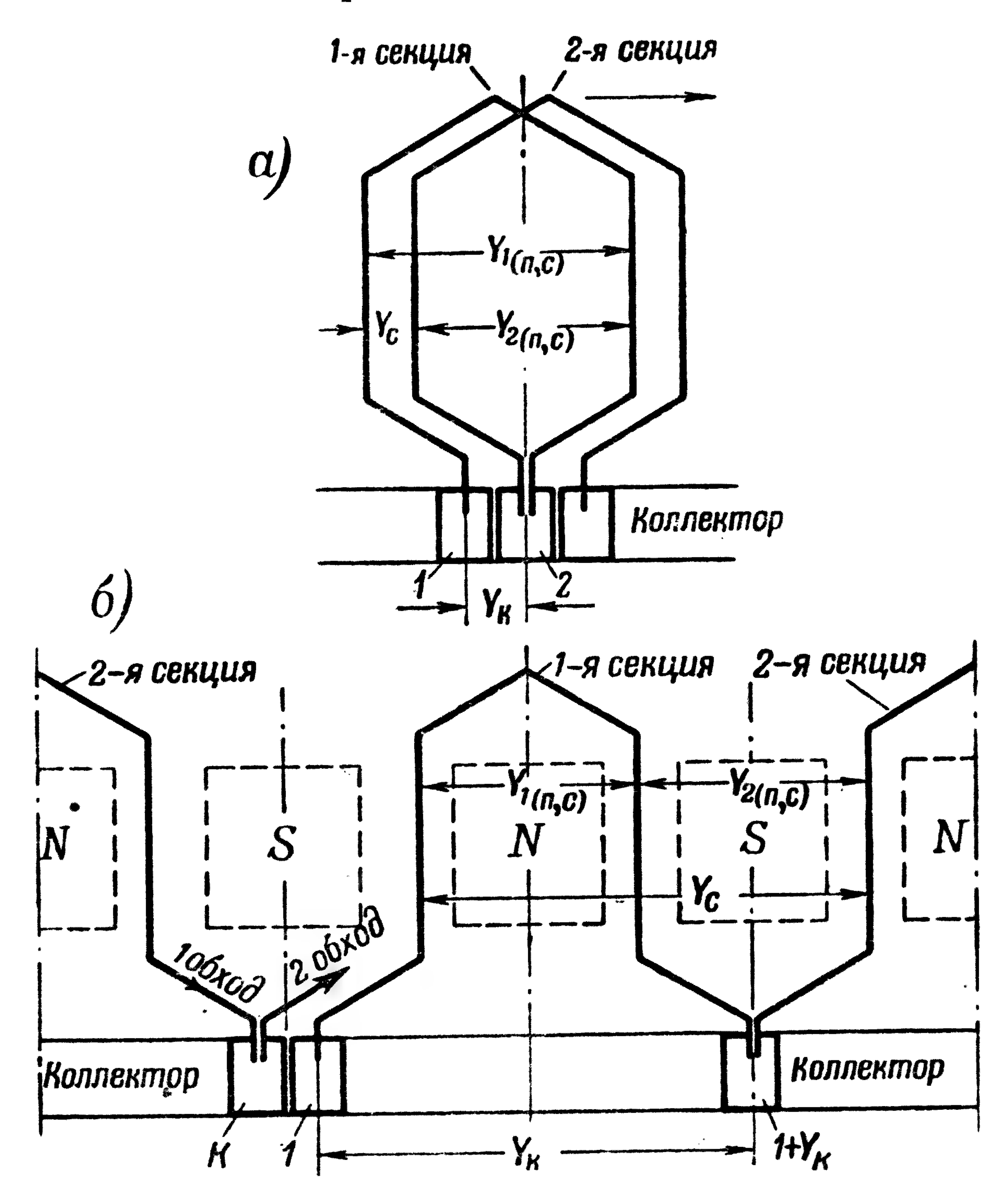


Рис. 4-4. Схема петлевой и волновой обмоток.

поток под этими полюсами будет сильнее. Электродвижущая сила параллельных цепей обмотки, лежащих под этими полюсами, будет также выше. В результате через щетки *А* — *А* и соединительную шину потекут токи, называемые уравнительными. Эти токи нагружают щетки и способствуют искрению на коллекторе. Для борьбы с этим явлением в петлевой обмотке применяют уравнительные соединения, соединяющие проводники обмотки, одинаково расположенные под одноименными полюсами. Тогда уравнительные токи, возникшие в результате каких-либо несимметрий, будут замыкаться через уравнительные соединения

и щетки будут разгружены от этих токов (рис. 4-5,*б*). Необходимость устройства уравнительных соединений накладывает особые условия на выбор количества пазов в машине. Действительно, для того чтобы иметь под каждой парой полюсов одинаково расположенные пазы, нужно, чтобы *число пазов на пару полюсов было целым.*

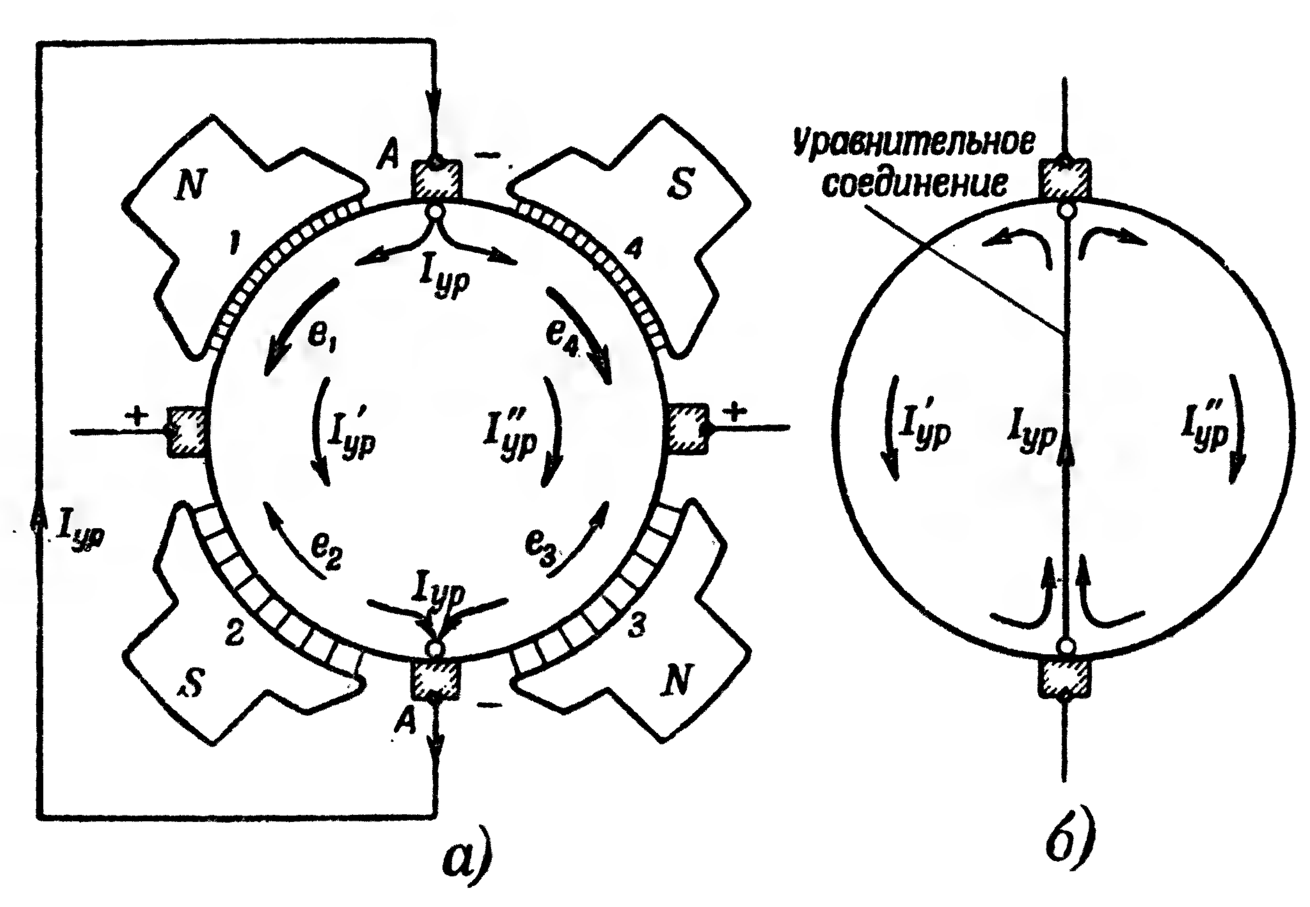


Рис. 4-5. Уравнительные соединения.

Уравнительные соединения выполняют в виде колец с числом отводов (отпаек), равным числу пар полюсов, либо в виде вилок. Они располагаются под лобовыми частями обмоток, иногда на коллекторе.

Волновая обмотка

В этой обмотке (рис. 4-4, *б*) второй шаг Y_2 отсчитывается в том же направлении, что и шаг Y_1. Полный шаг Y_c является суммой Y_{1c} и Y_{2c}. Обмотка имеет волнообразный характер. После того как уложено столько секций, сколько пар полюсов в машине (p), совершен первый обход вокруг якоря и конец последней секции обхода присоединяется к пластине K коллектора, не доходя на одно коллекторное деление до исходной (первой) пластины. Это достигается соответствующим расчетом $Y_к$.

Если конец секции попадает в исходную пластину, то весь обход из p секций будет замкнут накоротко и при вращении якоря в магнитном поле обмотка сгорит.

Исходя из сказанного условия, можно очень просто выразить шаг по коллектору волновой обмотки:

$$Y_к p = K - 1;\ Y_к = \frac{K-1}{p},$$

т. е. *шаг $Y_к$, взятый p раз, равен числу коллекторных пластин без одной*[1]. Зная шаг $Y_к$, легко определить полный шаг $Y_с$. Из рис. 4-4,*б* видно, что полный шаг $Y_с$ и шаг по коллектору $Y_к$ равны между собой, причем шаг $Y_с$ выражается в секционных сторонах, а шаг $Y_к$ в коллекторных делениях. Поскольку на каждую коллекторную пластину приходится одна секция или две секционные стороны, то, помножив шаг $Y_к$ на 2, получим шаг $Y_с$.

Если теперь из шага $Y_с$ вычесть шаг $Y_{1с}$, определенный ранее, то получится шаг $Y_{2с}$. Можно отметить, что для правильного суммирования э. д. с. нужно, чтобы *шаг $Y_{2с}$ был близок к полюсному делению* и был, как и $Y_{1с}$, числом нечетным.

Пример. Рассчитать волновую обмотку $2p = 4$, $Z = 37$, $K = 185$:

$$Y_{1п} = \frac{37}{4} = 9\frac{1}{4};$$

принимаем шаг $Y_{1п}$ равным 9;

$$Y_{1с} = 9 \cdot 2\frac{185}{37} + 1 = 91;$$

$$Y_к = \frac{185-1}{2} = 92;$$

$$Y_с = 2Y_к = 184;\ Y_{2с} = Y_с - Y_{1с} = 184 - 91 = 93.$$

---

[1] Обход может быть и таким, что конец последней секции переходит за первую пластину. В случае перехода за исходную пластину обмотка называется «перекрещенной». Шаг по коллектору такой обмотки выражается формулой

$$Y_к = \frac{K+1}{p}.$$

Таким образом, общее выражение для шага $Y_к$ будет иметь вид:

$$Y_к = \frac{K \pm 1}{p}.$$

Свойства обмоток (перекрещенной и неперекрещенной) одинаковы, за исключением полярности щеткодержателей (генератор) или направления вращения (двигатель).

Волновая обмотка состоит из двух параллельных цепей ($2a=2$) и шаг по коллектору имеет такую величину, что щетки одной полярности оказываются включенными параллельно также и внутри обмотки через секцию, лежащую в нейтральной зоне (т. е. в середине между полюсами) (рис. 4-6). Из сказанного вытекает ценное свойство волновой обмотки, заключающееся в том, что можно оставить на коллекторе только по одной траверсе каждой полярности. В этом случае питание параллельных цепей обмотки

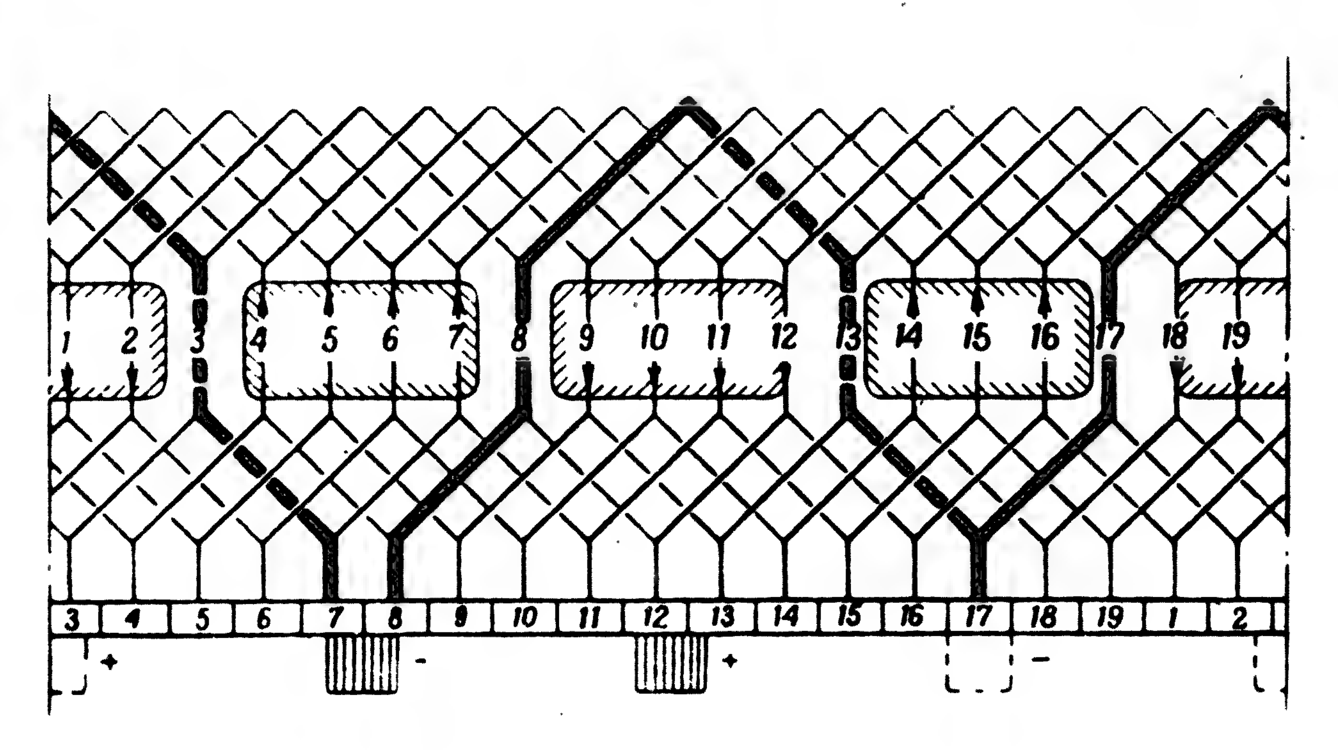


Рис. 4-6. Схема простой волновой обмотки.

происходит через секции, лежащие в нейтральной зоне. Это свойство используется в трудно доступных для осмотра двигателях (трамвай), так как позволяет уменьшить число щеткодержателей до двух.

Волновая обмотка имеет, следовательно, независимо от числа пар полюсов всегда две параллельные цепи $2a=2$ и иногда называется последовательной.

Поскольку проводники каждой параллельной цепи в этой обмотке обходят все полюсы, уравнительных соединений не требуется.

Для четырехполюсной машины $p=2$ и $Y_к = \frac{K-1}{2}$. Так как коллекторный шаг $Y_к$ должен быть целым числом, то число коллекторных пластин K должно быть нечетным. Число же секций в машине может оказаться четным. При этом одна из секций остается «мертвой», т. е. не присоединяется к коллектору и не участвует в работе обмотки, а закладывается лишь для механического баланса якоря

Последовательно-параллельная обмотка

При расчете машины может оказаться, что из-за большого тока машины двух параллельных цепей будет мало, а $2p$ параллельных цепей много. В этих случаях применяется волновая обмотка с увеличенным количеством параллельных цепей, называемая последовательно-

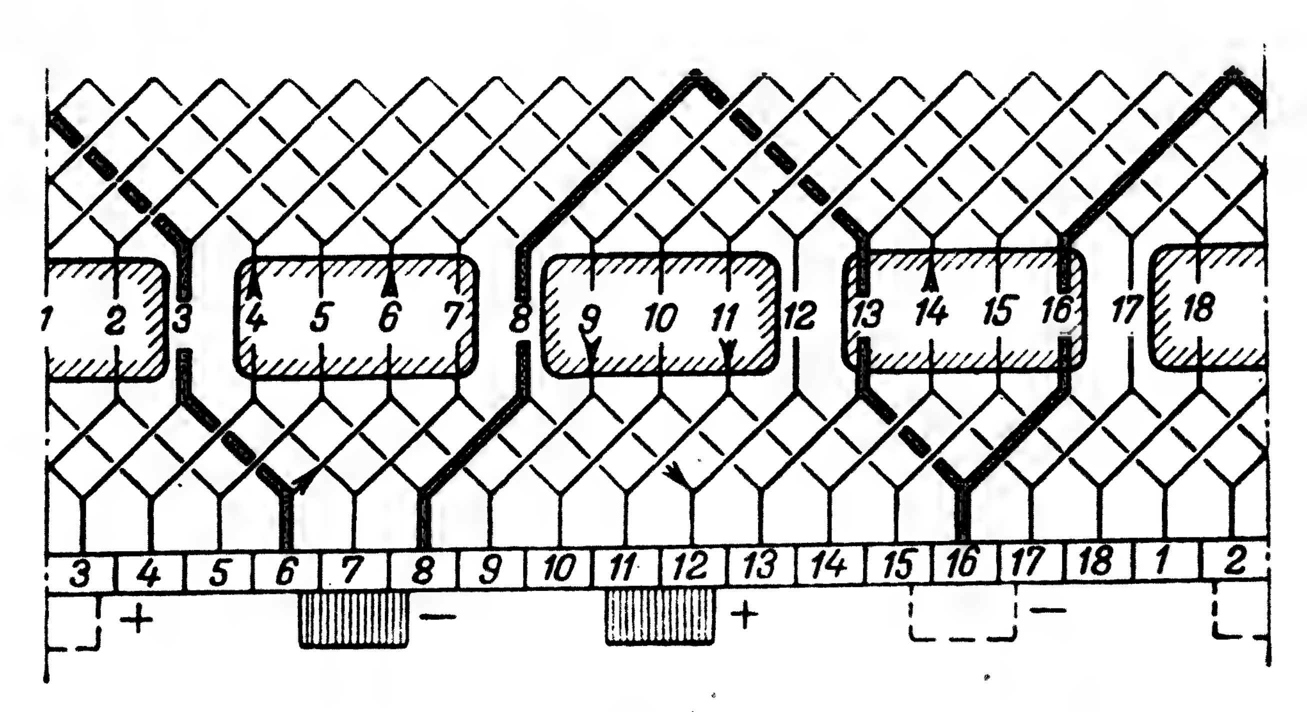


Рис. 4-7. Схема последовательно-параллельной обмотки.

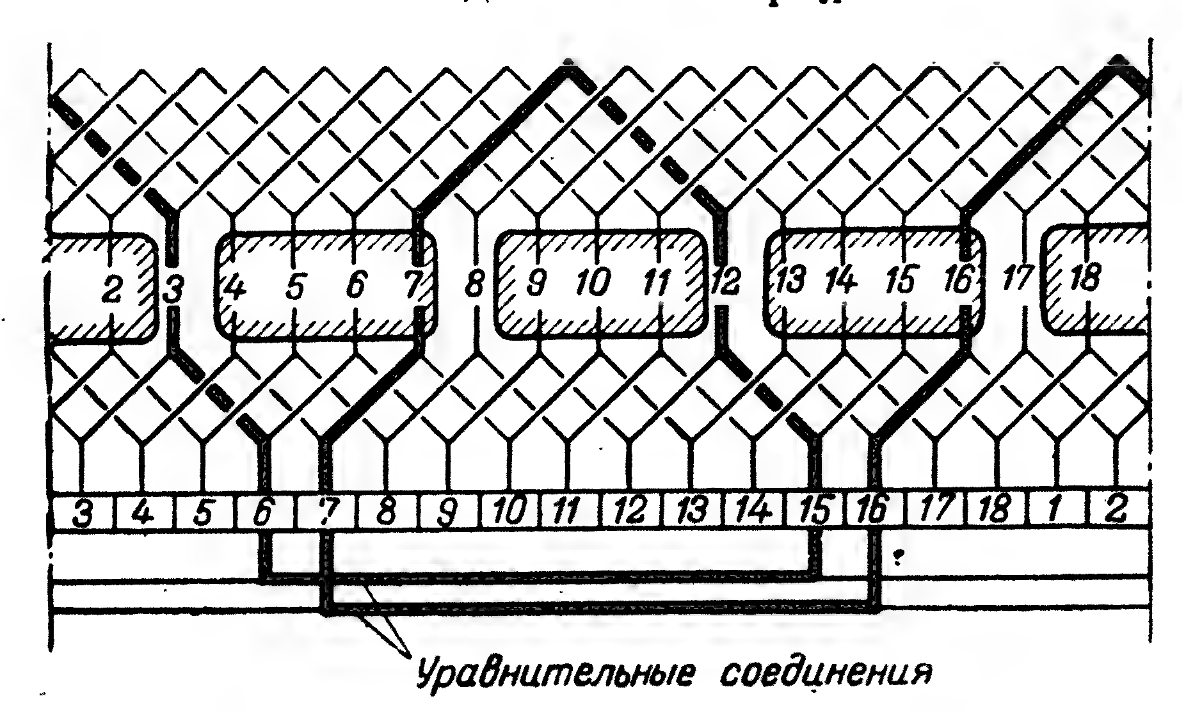


Рис. 4-8. Схема обмотки с уравнительными соединениями.

параллельной. Она выполняется таким образом, что после одного обхода конец секции попадает не в пластину, находящуюся рядом с исходной, а не доходит до нее на столько пластин, сколько пар параллельных цепей нужно получить:

$$Y_{\text{к}} = \frac{K \mp a}{p}.$$

На рис. 4-7 показана последовательно-параллельная обмотка с двумя парами параллельных цепей. Ее можно

представить себе состоящей из двух волновых обмоток, каждая из которых имеет одну пару параллельных цепей. Между коллекторными пластинами, принадлежащими одной обмотке, лежат пластины второй обмотки. Для питания обеих обмоток щетка должна быть достаточно широкой, чтобы перекрывать не меньше двух пластин. Для обеспечения равномерного распределения тока между двумя обмотками должны быть выполнены уравнительные соединения (рис. 4-8).

Условия симметрии

Для получения симметричной обмотки, т. е. обмотки, имеющей одинаковые параллельные цепи, должны быть выполнены следующие условия симметрии:

1. На каждую пару параллельных цепей должно приходиться целое число секций или коллекторных пластин, т. е. $\frac{K}{a}$ равно целому числу.

2. Для симметричного расположения параллельных цепей в магнитном поле отношения $\frac{Z}{a}$ и $\frac{2p}{a}$ должны быть целыми числами.

Электродвижущая сила якоря. Сечение проводников обмотки

Электродвижущая сила (э. д. с.) якоря машины постоянного тока выражается формулой

$$E = \frac{pn}{a \cdot 60} N\Phi \cdot 10^{-8} \ \textit{в},$$

где p — число пар полюсов машины;
a — число пар параллельных цепей обмотки;
N — число проводов обмотки якоря;
Φ — магнитный поток, приходящийся на один полюс, *мкс*;
n — число оборотов в минуту.

Электродвижущая сила якоря E связана с напряжением на зажимах машины U формулой

$$E = U \pm (IR + \Delta e_{щ}),$$

где IR — падение напряжения в обмотках машины, обтекаемых рабочим током (т. е. последовательной, добавочных полюсов и якоря);

знак + берется для генераторного режима;

знак — для двигательного;

$\Delta e_{щ}$ — падение напряжения на щетках обеих полярностей, берется в пределах 0,5—2 *в* в зависимости от марки щетки (табл. 6-1).

Сечение проводников обмотки может быть определено в зависимости от допустимой плотности тока по формуле

$$q = \frac{I}{2a\Delta s},$$

где I — полный ток якоря;

a — число пар параллельных цепей обмотки.

Допустимая плотность тока якорной обмотки Δs берется в пределах 4 — 6 *а/мм²*; обмотки возбуждения — в пределах 1,5 — 3 *а/мм²*.

4-2. ВЫЯВЛЕНИЕ НЕИСПРАВНОСТЕЙ ОБМОТКИ

Основными неисправностями обмоток является пробой на корпус или бандаж, замыкание между витками и секциями, распайка соединений, механические разрушения, неправильное соединение секций с коллектором или между собой, ухудшение состояния изоляции.

Проверка состояния изоляции по отношению к сердечнику якоря производится мегомметром. Замыкание на корпус может быть обнаружено лампочкой.

Замыкание между витками якоря, не имеющего уравнительных соединений (или до их присоединения), может быть обнаружено проверкой его магнитным ярмом (рис. 4-9). Обмотка магнитного ярма питается током с частотой 500—1 000 *гц*. Возбуждаемый этой обмоткой магнитный поток проходит через якорные секции и при наличии замыканий между витками вызывает ток в замкнутой секции. Появление тока обнаруживается по притяжению к пазу, где лежит неисправная секция, тонкой стальной пластинки. Для обнаружения этого паза после включения тока в обмотку ярма проводят по окружности якоря стальной пластинкой и отмечают пазы, к которым притягивается пластинка. Затем выключают ток, поворачивают якорь на небольшой угол, снова включают ток и обходят по окружности якоря стальной пластинкой.

Универсальным методом, позволяющим определить межвитковые замыкания, распайки и обрывы, ошибки в шаге, является метод измерения падения напряжения

в секциях — метод милливольтметра[1]. При этом методе через обмотку якоря пропускается постоянный ток (10—30% номинального) от источника тока с постоянным напряжением (аккумуляторы). Ток регулируется реостатом. Подвод тока в якорную обмотку осуществляется через проводники, наложенные на пластины коллектора на расстоянии друг от друга, равном полюсному делению. Щупами,

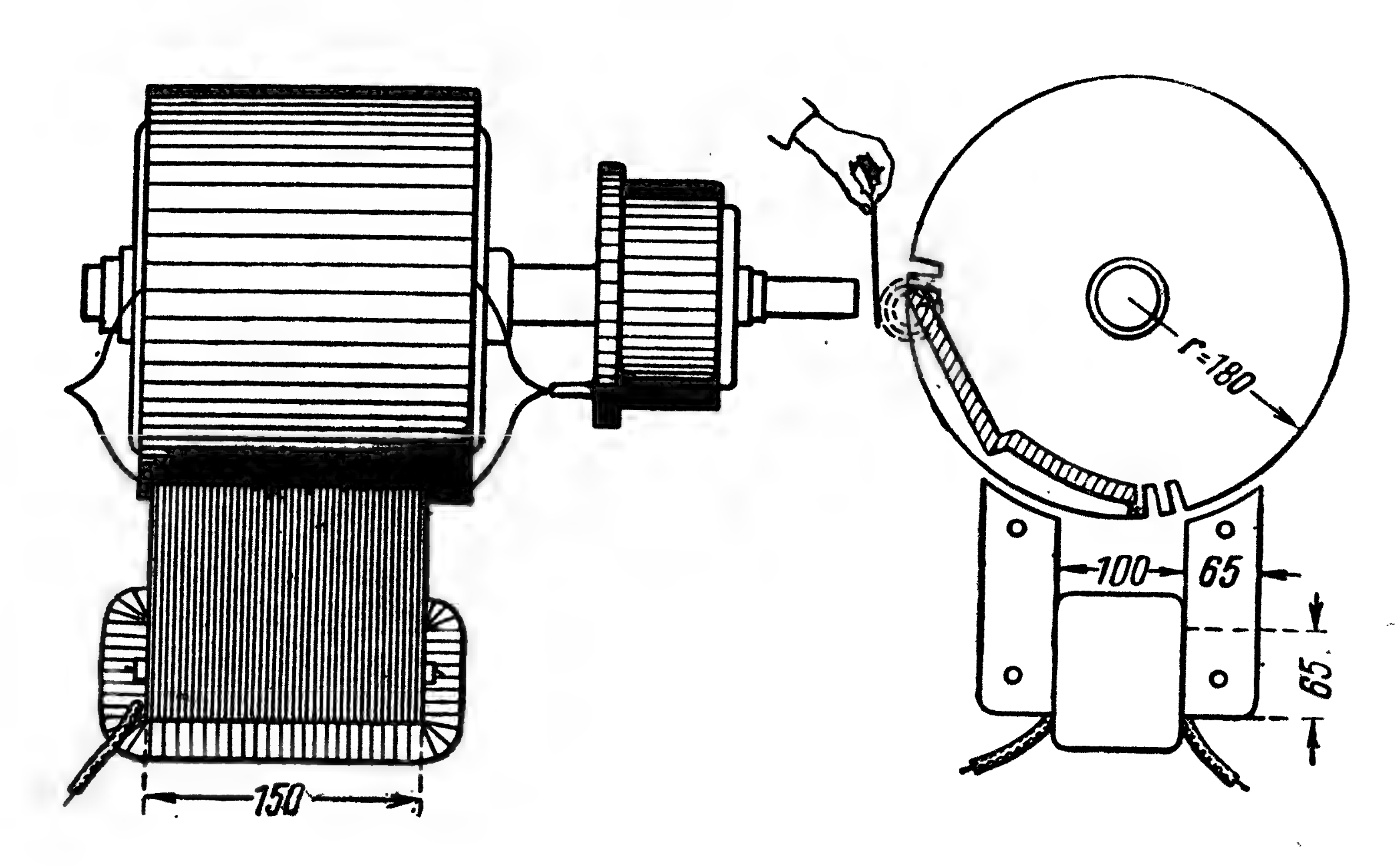


Рис. 4-9. Проверка обмотки магнитным ярмом.

которые соединены с вольтметром или милливольтметром, измеряют напряжения между соседними пластинами коллектора. Неисправности якорной обмотки будут отражаться на показаниях прибора следующим образом:

а) Замыкание между витками соседних секций или между соседними коллекторными пластинами дает пониженное отклонение милливольтметра на этих пластинах.

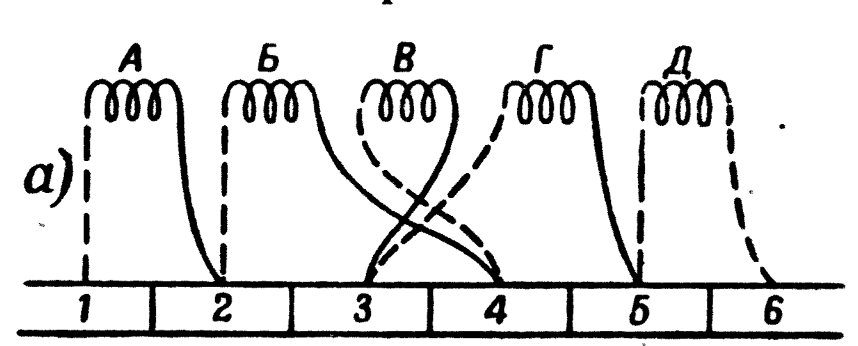
Следует иметь в виду что замыкание одного-двух витков в многовитковой секции не всегда может быть обнаружено методом милливольтметра. Якорь в этом случае должен быть проверен магнитным ярмом.

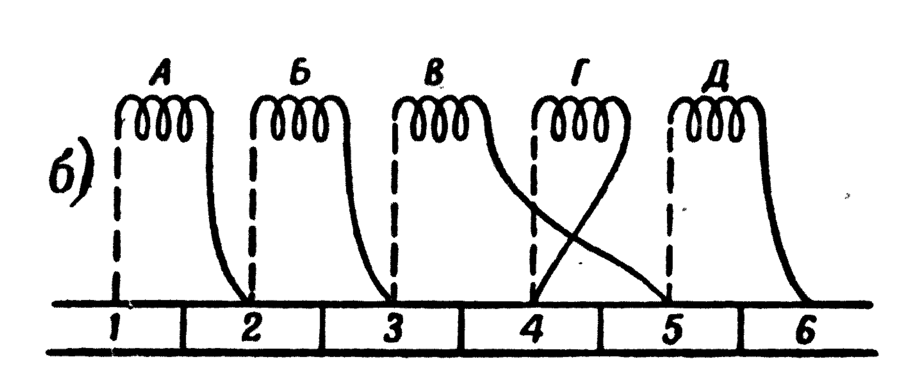
б) Замыкание между проводниками верхнего и нижне-

[1] При этом методе обмотка подвергается воздействию небольших напряжений. Поэтому этим методом не всегда можно найти замыкания, обнаруженные в эксплуатации. В таких случаях следует прибегнуть к импульсным методам (см. стр. 99).

го слоев обмотки дает пониженное отклонение на большой группе пластин. При обходе пластин в одном месте или при волновой обмотке в нескольких местах (по числу пар полюсов) получается изменение показаний милливольтметра, сохраняющееся далее на значительном числе пластин.

в) Обрыв и распайка в обмотке характеризуются увеличенным отклонением милливольтметра на пластинах, соединенных с неисправными секциями; у волновой обмотки без уравнительных соединений обрыв характеризуется отсутствием отклонений прибора на всех пластинах, кроме одной пары (на каждую пару полюсов), где отклонение может достигнуть опасной для милливольтметра величины.





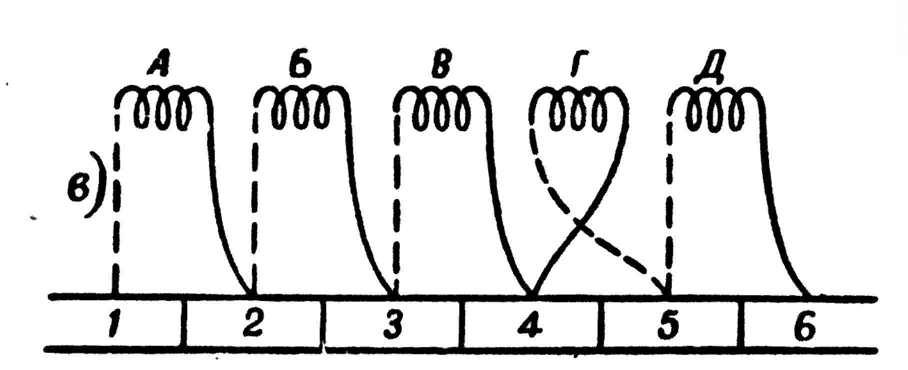


Рис. 4-10. Перекрещивание выводных концов обмотки.

г) Перекрещивание двух нижних и верхних концов секций («двойной крест», рис. 4-10,*а*), что может иметь место в обмотке из круглого провода, характеризуется двумя повышенными отклонениями милливольтметра между пластинами *2-3* и *4-5* и обратным отклонением между *3-4*.

д) Замыкание одной секции на себя не дает отклонения на одной паре пластин (рис. 4-10,*б*).

е) Простой крест (рис. 4-10,*в*) не может быть обнаружен методом милливольтметра. В этом случае ток подводится к каждой паре пластин поочередно и компасом *К* проверяется полярность секций. Изменение полярности указывает на «крест» (рис. 4-11).

Следует иметь в виду, что у обмоток, имеющих уравнительные соединения, и в особенности у многократных обмоток, отклонения милливольтметра на соседних пластинах могут быть неодинаковыми, особенно вблизи пластин, на которые наложены проводники, питающие якорь током. В этом случае отмечаются пластины, у которых нарушает-

ся определенная закономерность показаний милливольтметра, установленная при обходе по коллектору.

Однако найденные таким образом неисправные места нуждаются в дополнительной проверке. Поэтому после первого обхода коллектора и отметки неисправных мест точки подвода тока смещаются на одну—три пластины вправо и затем влево и производятся повторные обходы. Если неисправные места при всех этих обходах совпадают, то сделанное определение их является точным.

Следует подчеркнуть, что плохая впайка проводников обмотки в коллекторную пластину обнаруживается этим методом только в том случае, если верхний и нижний проводники секций, входящие в пластину, плохо спаяны между собой. Если же спайка проводников, входящих в коллекторную пластину, между собой хорошая, а их соединение с пластиной плохое (что, вообще говоря, может иметь место, так как проводники при пайке могут быть лучше прогреты, чем пластина), то такая неисправность указанным выше способом не обнаруживается. Для ее обнаружения следует поочередно произвести измерение напряжения на каждой паре пластин коллектора, отстоящих друг от друга на a пластин (где a — число пар параллельных цепей в обмотке), при одновременном питании током постоянной величины этих же пластин. Повышенное напряжение укажет в этом случае на плохую пайку.

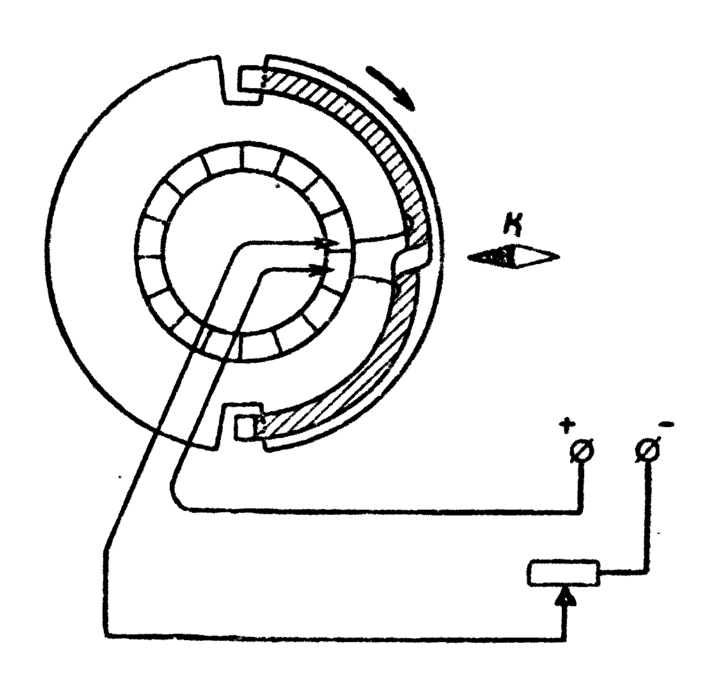


Рис. 4-11. Обнаружение перекрещивания концов обмотки компасом.

Эту дополнительную проверку следует рекомендовать для якорей ответственных машин независимо от мощности.

При известном навыке можно применять упрощенный метод милливольтметра, при котором питание подводится при помощи двух стальных щупов к части обмотки. Прибором проверяют напряжение на соседних коллекторных пластинах, лежащих между теми пластинами, к которым подведен ток. При этом устанавливается определенный закон изменения показаний милливольтметра, отклонения от которого указывают на наличие повреждения. Опыт повторя-

ется при нескольких положениях токоподводящих щупов.

Для проверки уравнительных соединений токоподводящие щупы и концы милливольтметра ставятся на пластины, к которым присоединены уравнительные соединения. Они отстоят друг от друга на шаг уравнительного соединения.

При испытании якорей при помощи магнитного ярма или по способу милливольтметра особое внимание должно быть обращено на отсутствие на коллекторе каких-либо заусенцев, медной пыли, следов олова, могущих дать замыкание между пластинами. Должна быть произведена тщательная расчистка между пластинами, отмеченными как дефектные, и произведена повторная проверка.

Подготовка якоря к перемотке включает: 1) продувку сжатым воздухом; 2) очистку от грязи и масла; 3) снятие старых бандажей; 4) распайку коллектора; 5) снятие старой обмотки; 6) составление обмоточной записки. Если при снятии старой обмотки желательно сохранение секций, то для якорей с миканитовой изоляцией требуется нагрев их до 80° С. Для поднятия верхних секций между верхней и нижней секциями в паз загоняют тонкий гладкий клин. Таким же образом поднимается нижняя сторона секций.

Подготовка якоря к укладке новой обмотки заключается в тщательной очистке, опиловке пазов, покраске стенок пазов. Коллектор проверяется на отсутствие замыканий между пластинами при напряжении 110—220 *в*. Обмоткодержатель изолируется. Торцовые поверхности обмоткодержателя изолируют шайбами, вырезанными из электрокартона.

4-3. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ЯКОРНЫХ СЕКЦИЙ

Якорные секции изготовляют так же, как и статорные. Способы нанесения изоляций секций те же, что и для статорных. Однако вследствие того, что якорные секции при работе вращаются, следует обратить особое внимание на отсутствие сгустков лака, так как такие сгустки долго не высыхают и при вращении якоря лак будет разбрызгиваться. Для больших якорей, пропитываемых погружением, удаление излишков лака производится иногда путем вращения якоря после того, как лак обычным способом стечет с якоря. Из этих соображений не делают компаундировку якорных секций, так как размягченная при нагреве компаундная масса может разбрызгиваться при вращении.

4-4. РАЗМЕТКА ЯКОРЯ

Разметка якоря заключается в определении взаимного положения паза и пластин коллектора, в которые должны быть впаяны концы секций, заложенных в этот паз. Отметка паза производится зубилом на двух зубцах, между которыми лежит паз, а отметка пластин — керном на торцовой поверхности пластин. Для обнаружения старой разметки нужно расчистить закрашенную поверхность торцов коллекторных пластин. Если же обнаружить старую разметку не удается, то при разметке якоря следует сделать новые отметки. Разметка якоря важна для машин, у которых не предусмотрен сдвиг щеточной траверсы. Точная разметка важна также для якорей с шинной обмоткой большого сечения, где нет возможности натягивать концы секций. Правильная разметка должна быть обеспечена на заводе-изготовителе или в ремонтном цехе, если производится капитальный ремонт коллектора, связанный с разборкой пластин. Она обеспечивает правильное взаимное положение коллекторных пластин и пазов.

Разметку можно делать двумя способами: 1) отметить паз и пластины, к которым должны подходить концы секций из этого паза, а затем путем отсчета шагов по пазам и по коллектору —второй паз и вторую группу пластин; 2) отмечают середину секций (паз или зуб) и соответствующую ей точку на коллекторе (пластина или прокладка между пластинами), а затем путем отсчета вправо и влево половины шага по коллектору отмечают соответствующие группы пластин. Первый способ разметки проще и удобнее. При косом пазе якоря для сохранения правильного положения щеткодержателей лобовые части секций со стороны коллектора делают разной длины, разметку можно вести по второму способу, причем середину секции отмечают в том месте, где она проходит через середину длины сердечника якоря. На рис. 4-12 приведены схемы выбора первого паза и первой пластины, к которой подводится конец секции, лежащей посередине паза или рядом с серединой паза. После нахождения этой пластины керном отмечают пластины, принадлежащие остальным секциям данного паза, а затем отсчетом коллекторного и пазового шагов находят вторую группу пластин и второй паз. При пользовании рис. 4-12 следует помнить то, что для упрощения разметки шаги обмотки выражены числом коллекторных пластин. Если обмотка имеет мертвую секцию, то она располагается диаметрально противоположно первой.

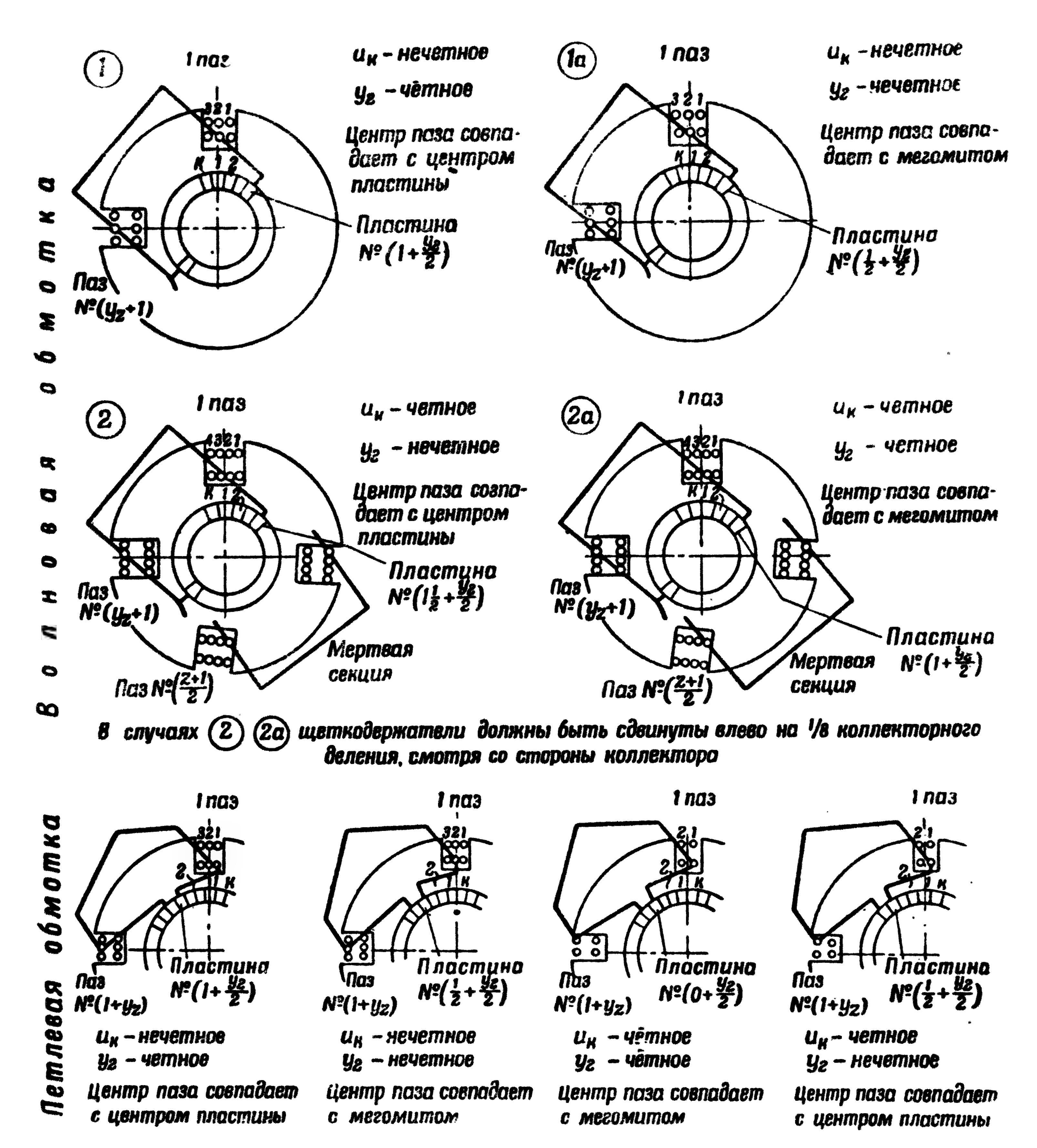


Рис. 4-12. Схема разметки якоря.

Обозначения: $u_К$ (u) — число коллекторных пластин, приходящееся на 1 паз (см. текст, § 4-1); Y_Z ($Y_{1п}$) — шаг по пазам (см. § 4-1); Y_2 ($Y_{2К}$) — второй (передний) шаг, выраженный числом коллекторных пластин: $Y_2 = Y_К - Y_Z\, u_К$, где $Y_К$ — шаг по коллектору.

Мегомит — изоляция между пластинами.

4-5. УКЛАДКА СЕКЦИЙ В ПАЗЫ

Укладка обмотки зависит от типа паза. Для малых машин (до 5 *квт*) обычно применяется полузакрытый паз с укладкой секций через прорезь. Обмотка выполняется двухслойной. Якоря более мощных машин имеют открытые пазы, в которые укладываются заранее отформованные секции.

Первые уложенные по пазовому шагу секции закладывают только нижними сторонами. Закладка производится так, чтобы прямолинейные участки секции, выступающие из паза, были с обеих сторон якоря одинаковыми. Верхние стороны этих секций закладывают последними. Эта операция является наиболее ответственной. При укладке обмотки через прорезь следует обращать особое внимание на формовку лобовых частей в процессе намотки, так как увеличение размеров в лобовой части приводит к не-

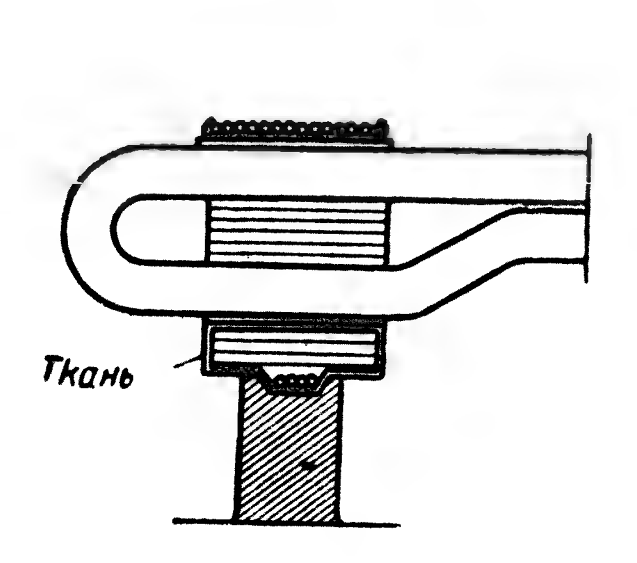


Рис. 4-13. Изоляция обмоткодержателя.

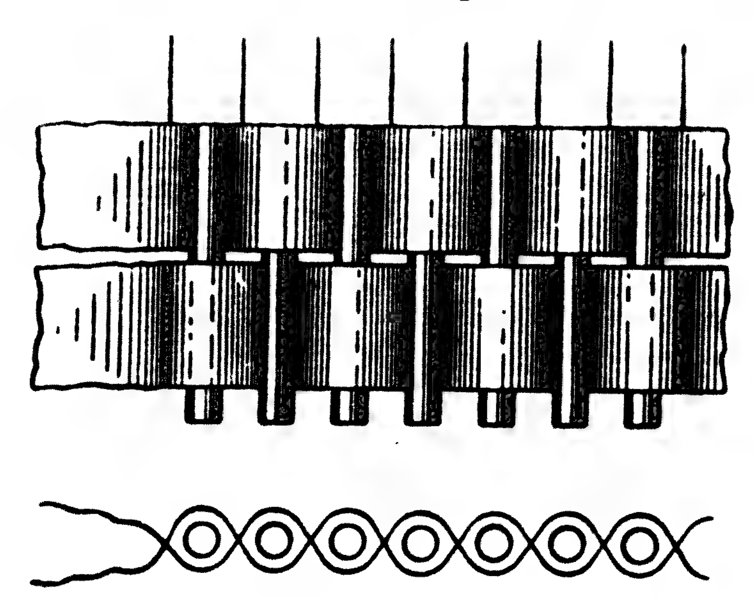


Рис. 4-14. Изоляция выходных концов у коллектора.

возможности укладки последних сторон секций. Такое положение может иметь место, если развернутые длины секций слишком коротки или укладка лобовых частей привела к неравномерному распределению их по окружности якоря. Нижние концы закладываемых секций в соответствии с разметкой закладывают в прорезь коллекторных пластин и бандажируют лентой. Верхние концы секций приподнимают так, чтобы они не касались коллектора. Укладку этих концов начинают после того, как будут заложены все секции якоря. Перед укладкой этих концов проверяют на лампу, какому нижнему (уже заведенному в коллектор) концу соответствует верхний конец, после чего отсчетом коллекторного шага определяют пластину, в которую он должен быть заложен.

По мере укладки секций в лобовых частях между верхним и нижним слоями кладут изоляцию из полос пропитанного электрокартона (рис. 4-13). Общая толщина должна быть несколько меньше просвета между секциями. При всыпной обмотке между лобовыми частями прокладывают лакоткань. Выводные концы к коллектору у проволочных секций изолируют полосками лакоткани по рис. 4-14. После укладки обмотки до пайки коллектора

производят испытание магнитным ярмом на межвитковое замыкание, и если испытание дало положительные результаты, проводники запаивают в коллектор. После пропайки коллектор протачивают и продороживают, а затем повторно испытывают на межвитковое замыкание и на пробой на корпус.

Ручная обмотка якорей малых двигателей существенно отличается от обмотки более мощных двигателей.

Обмотка выполняется как двухслойная, однако закладка первых секций только одной стороной в этом случае невозможна, так как тонкий проводник нельзя натягивать, как это необходимо при закладке последних сторон секции. Поэтому здесь применяются способы, при которых секция укладывается в пазы обеими сторонами. Первые (по шагу) секции лежат при этом обеими сторонами внизу паза, последующие — внизу и вверху, а последние—вверху.

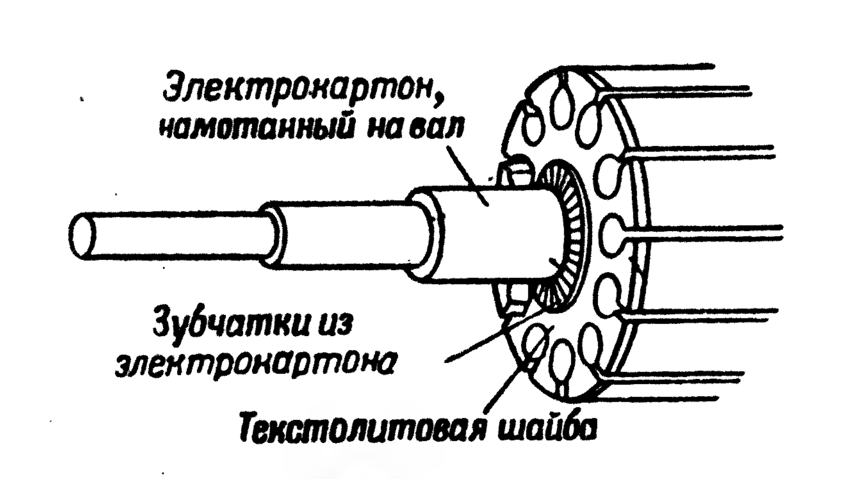


Рис. 4-15. Изоляция якоря под обмотку.

Перед укладкой обмотки якорь изолируют, как показано на рис. 4-15.

Возможны следующие способы укладки. Для примера возьмем якорь двухполюсной машины, имеющей 11 пазов и шаг секций по пазам, равный 5:

I. Секции наматываются по пазам в такой последовательности:

1—6 2—7 3—8 4—9 5—10	обе стороны секций внизу паза	7—1 8—2 9—3 10—4 11—5	обе стороны вверху паза
6—11	одна сторона вверху, другая внизу паза		

Каждая секция при намотке занимает половину проводов, лежащих в пазу. Соединение между секциями делается в виде петель, присоединяемых к коллектору без обрыва провода (рис. 4-16).

Для четырехполюсных машин при этом способе имеем почти симметричную лобовую часть, наоборот, у двухполюсных — несимметричную. Однако, если сделать не один

обход якоря по приведенной схеме, а несколько обходов, то, укладывая каждый раз только часть витков секций, например 1/3, можно получить достаточно симметричные лобовые части.

Изоляция секции от секции в лобовой части показана на рис. 4-16. На рис 4-17 дано крепление головки. Между

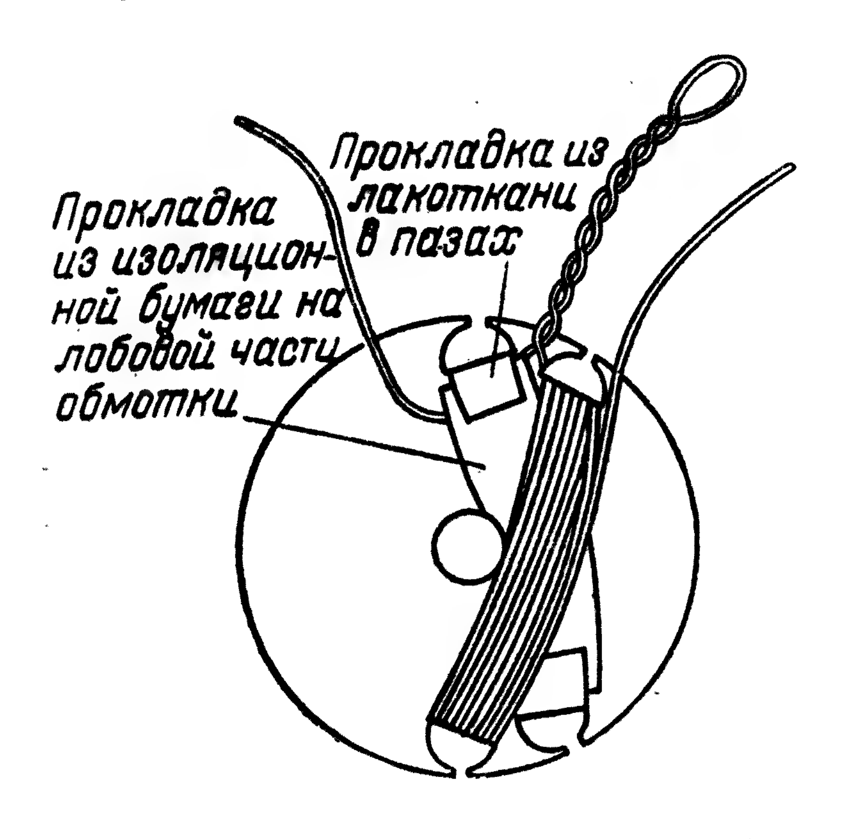


Рис. 4-16. Изоляция между секциями.

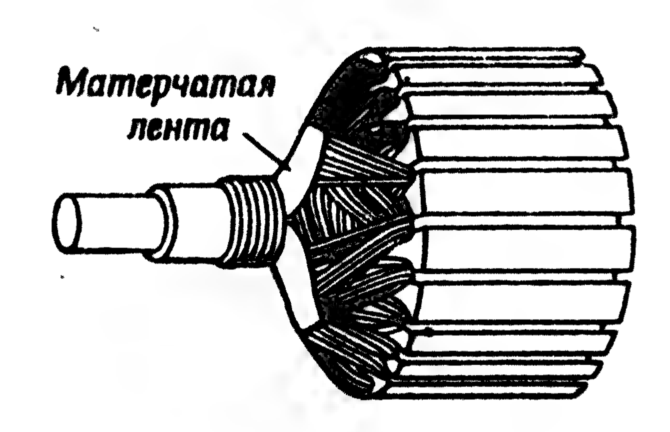


Рис. 4-17. Укрепление лобовых частей.

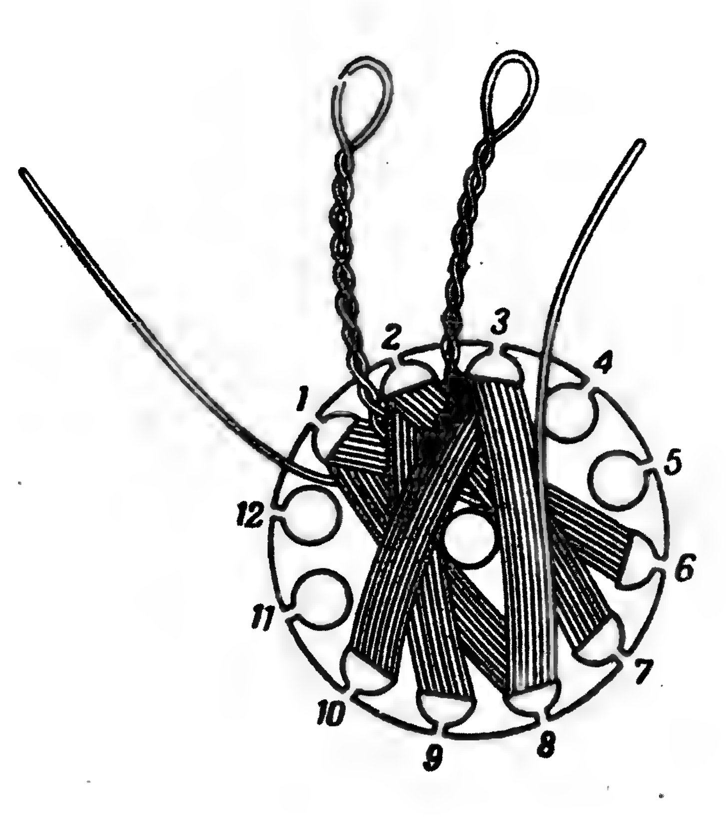


Рис. 4-18. Обмотка якоря „елочкой".

слоями в пазу кладутся прокладки из тонкой пропитанной бумаги или лакоткани. Изоляция паза для напряжений до 24 *в* состоит из одного слоя лакоткани или пропитанной бумаги 0,1 *мм*. Для напряжений до 220 *в* изоляция паза: один слой лакоткани 0,1 *мм* между двумя слоями пропитанного электрокартона 0,1—0,5 *мм*.

II. Хорошие результаты для двухполюсных машин дает обмотка елочкой (рис. 4-18), для которой обходы даны в таблице на стр. 148.

4-6. ПАЙКА ОБМОТОК, КОЛЛЕКТОРОВ, БАНДАЖЕЙ

Соединение проводников пайкой выполняется при помощи припоя. По температуре расплавления припои делятся на мягкие (олово — свинец) с температурой пайки до 300° С и твердые (медь—серебро) с температурой пай-

Для якоря 11 пазов шаги 5 и 6	
1—6	5—10
1—7	5—11
2—7	6—1
2—8	6—2
3—8	и т. д.
3—9	. . .
4—9	11—5
4—10	11—6

Для якоря 12 пазов шаги 5 и 7	
1—6	6—11
1—8	6—1
2—7	7—12
2—9	7—2
3—8	и т. д.
3—10	. . .
4—9	. . .
4—11	. . .
5—10	12—5
5—12	12—7

ки 700° С и выше. Для того чтобы припой мог дать прочное соединение поверхностей, кроме чистоты их, необходимо, чтобы на них не было пленки окислов. При температуре пайки такой пленкой покрыты поверхности любого металла. Для уничтожения пленки окислов служат флюсы: канифоль для мягких паек и бура для твердых. Протравка спаиваемых поверхностей кислотой при пайке токоведу-

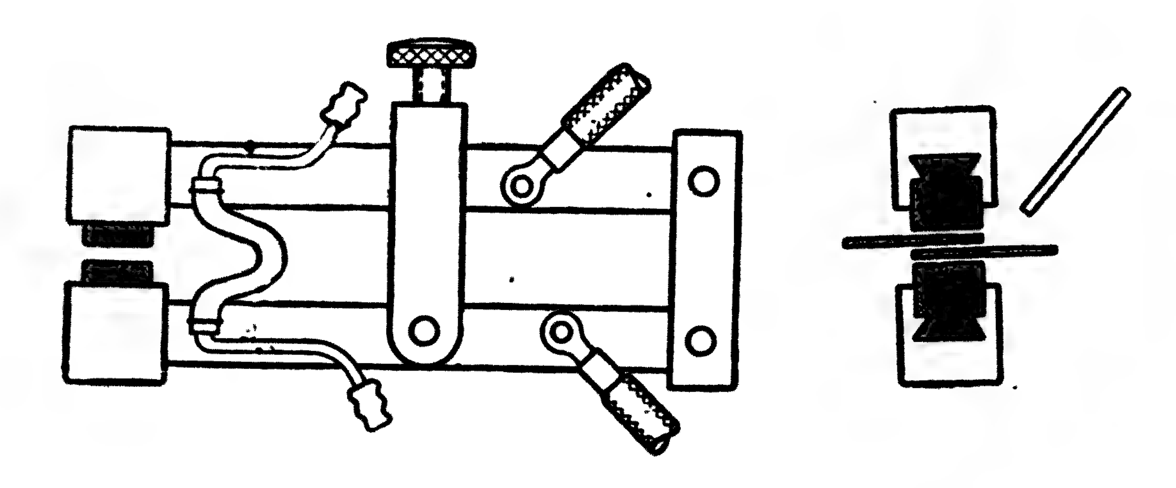


Рис. 4-19. Сварочные клещи.

щих частей в электрических машинах не допускается, так как кислота разрушает изоляционные материалы.

Канифоль может применяться в твердом виде или в виде спиртового раствора. Бура применяется в виде порошка либо водного раствора. Пайка производится паяльной лампой или паяльником. Для ускорения пайки желательно применение электрических паяльников. Для пайки твердым припоем применяются клещи с электронагревом (рис. 4-19) и графитовыми губками.

Мягкими припоями паяют коллекторы и бандажи всех машин, статорные и роторные шины и соединения у машин, изолированных по классу А с невысокими рабочими температурами. Мягкие припои в зависимости от содержа-

ния олова имеют различные точки плавления. Наивысшей точкой плавления обладает чисто оловянистый припой. Этим припоем рекомендуется паять коллекторы и бандажи ответственных машин, у которых возможны значительные перегрузки. Для нормальных машин пайка коллекторов и бандажей может производиться припоем ПОС-33 и ПОС-60 с 33—60%-ным содержанием олова (ГОСТ 1499-42).

Твердым припоем паяют: шины (стержни) обмоток машин, имеющих высокие перегревы и изолированных по классу В (тяговые двигатели, роторы крупных асинхронных двигателей и т. д.), неизолированные обмотки короткозамкнутых роторов, демпферные клетки и т. д. Твердым припоем производится также соединение медных шин в процессе намотки катушек. Тонкие провода во избежание пережога паяют мягкими припоями.

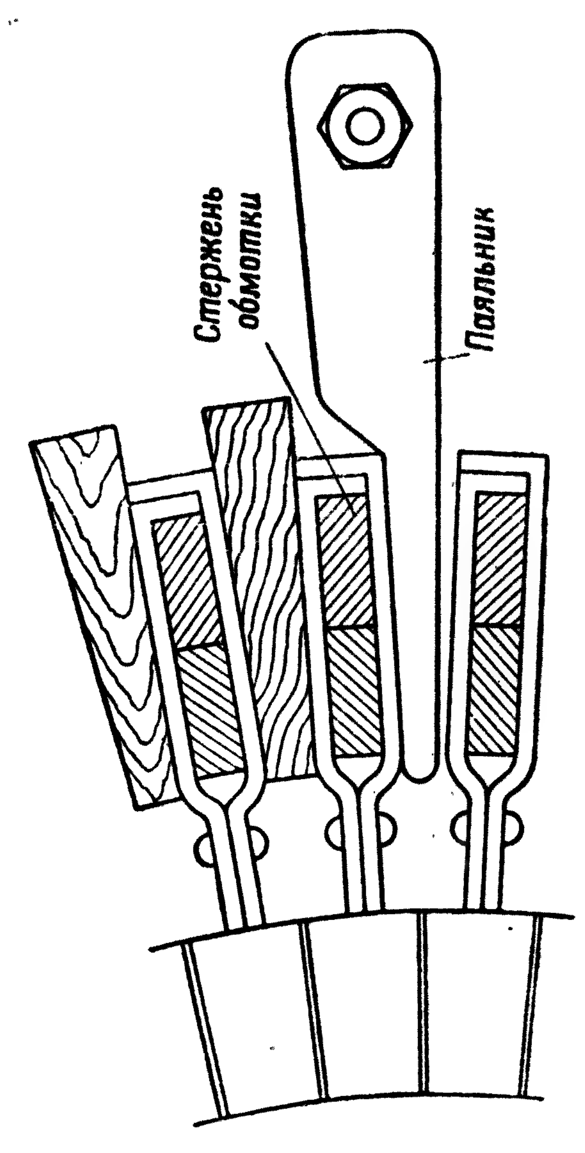


Рис. 4-20. Пайка петушков.

Технология пайки мягкими припоями предусматривает следующие операции: 1) очистка поверхности места пайки; 2) прогрев места пайки до температуры, при которой припой плавится от прикосновения к месту пайки; 3) обильная промазка канифолью; 4) введение палочки припоя путем прижимания ее к щели между спаиваемыми поверхностями; 5) удаление (тряпкой) излишков припоя в горячем состоянии; 6) остывание и смывание остатков канифоли спиртом.

Для лучшего соединения паяемых поверхностей рекомендуется их предварительное облуживание.

Пайка коллекторов производится в наклонном положении для того, чтобы олово не затекло за петушки. Прогрев коллектора паяльной лампой должен производиться весьма осторожно, чтобы не отпустить пластин. Обмотка при этом закрывается асбестовой тканью или картоном. У малых коллекторов достаточно прогреть петушки паяльником.

То же относится к впайке проводов в ленточные петушки (рис. 4-20). Прорезь в пластине, петушок и конец

обмоточного провода должны быть предварительно облужены.

Наилучшие результаты дает пайка коллекторов в ванне. При этом якорь устанавливают вертикально коллектором вниз. Торцовую часть петушков ставят на асбестовую прокладку, лежащую на борту стального кольца. Кольцо и коллектор прогревают при помощи электрообогрева до температуры 250° С, после чего петушки обильно промазывают канифолью и в канавку между ними и бортом кольца наливают расплавленное олово или припой.

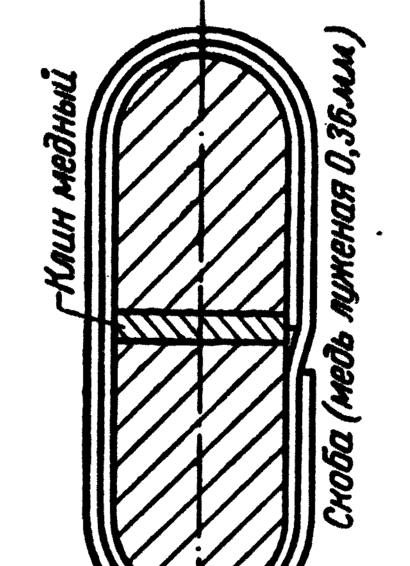


Рис. 4-21. Подготовка стержней роторной обмотки к пайке.

При этом методе пайки обеспечивается хорошее проникновение олова во все места, подлежащие пропайке.

Олово, естественно, не должно наливаться выше уровня петушков, чтобы оно не затекало в обмотку.

Для выполнения пайки по указанному способу ремонтный цех должен иметь установку для нагрева и набор сменных колец для разных диаметров коллекторов.

Весьма удобным (в особенности в условиях ремонта) является способ нагрева петушков при пайке коллекторов[1], согласно которому коллектор охватывается медным хомутом или проводом, обеспечивающим хороший контакт с пластинами. Один конец от сварочного трансформатора подводят к этому хомуту, а второй конец— к паяльнику, представляющему собой медный стержень с графитовой накладкой, укрепленный в рукоятке из изоляционного материала. Прикосновением графитовой накладки к петушку его разогревают до нужной температуры.

Пайка шин двухслойной обмотки предусматривает подготовку, т. е. охват шин скобочкой и расклиновку их медным клином (рис. 4-21). Ротору дается легкий наклон для предотвращения затекания олова в обмотку.

Если шины имеют большое сечение, а скобочка большую длину, то для облегчения пропайки всей поверхности в скобе делают прорези или круглые отверстия (рис. 4-22). Пайка может быть хорошо выполнена только в том случае, если внутри скобки с расклиненными шинами не остается пустот. В противном случае припой будет вытекать и пайка получится непрочной.

---

[1] Предложение тт. Пяткова и Севастьянова.

Пайка бандажей после их намотки заключается в равномерной пропайке тонким слоем олова рядом лежащих витков бандажной проволоки, так что образуется как бы сплошной пояс. При этом не должно быть мест, где олово наложено настолько толстым слоем, что закрывает витки бандажной проволоки.

Пайку проводов твердым припоем производят в следующей последовательности: 1) подготовка торцов; 2) разогрев до темно-красно-малинового цвета; 3) посыпание бурой до полного закрытия слоем расплавленной буры концов провода; 4) дальнейший нагрев до момента расплавления припоя, после чего необходимо прекратить нагревание; 5) осмотр и опиловка места пайки, проверка прочности ее на изгиб. Припой в виде листочка закладывают между торцами провода. Для прямоугольной меди большого сечения стык выполняют наискось (угол 65°). Концы вкладывают в зажимы и закрепляют один плотно, другой свободно. Нагрев места пайки производят паяльной лампой, автогенной горелкой или электроклещами (рис. 4-19).

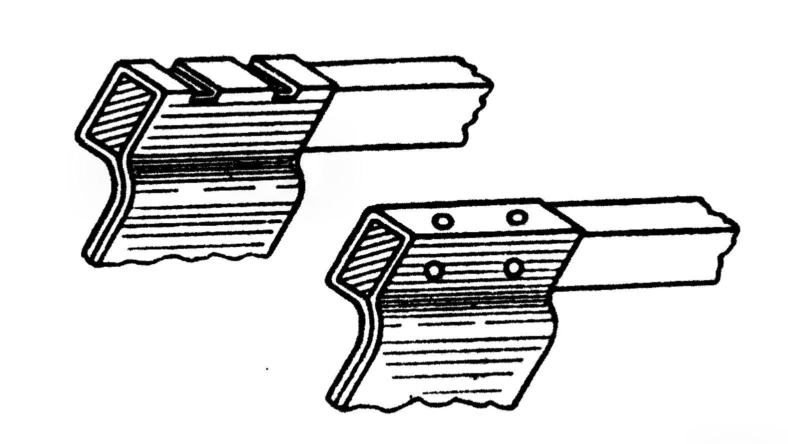


Рис. 4-22. Скоба с отверстиями.

Пайка шин может производиться аналогичными клещами с угольными губками. Припой в виде листочка закладывают под скобу, которая сжимается клещами. На короткое время, необходимое для расплавления припоя, включают ток.

Хорошие результаты дает пайка припоем из фосфористой меди (температура плавления 720—740° С).

Подлежащие пайке поверхности очищаются шкуркой и сдавливаются электроклещами. Включением тока место пайки нагревается до 750—800° С и одновременно кромки спаиваемых поверхностей промазываются припоем. Благодаря высокой текучести этого припоя он распределяется по всей поверхности. Для лучшего растекания припоя плоскость спая желательно расположить наклонно или вертикально.

Припой может быть изготовлен путем расплавления в тигле шихты, состоящей из 35% красной меди (стружка, обрезки), 65% фосфористой меди с содержанием фосфора 14—15%. Сверху шихта засыпается порошкообразным древесным углем и плавится. Для плавки может быть применен электронагрев от сварочного трансформатора, для чего

в шихту опускается графитовый электрод диаметром 15—20 *мм* и присоединяется к одному зажиму трансформатора. Второй зажим присоединяется к тиглю. Вольтова дуга образовываться не должна. Припой отливается в виде палочек, по возможности тонких.

4-7. РЕМОНТ РОТОРНЫХ ОБМОТОК

Обрыв роторной фазы у двигателей с фазным ротором может произойти вследствие распайки соединений или неисправной работы замыкающего механизма. Двигатель при этом может «взять с места», однако в его работе проявляются следующие характерные ненормальности:

1. Колебание тока статорной обмотки.
2. Гудение двигателя, причем характер гула изменяется при изменении нагрузки и числа оборотов.
3. Колебание вращающего момента, приводящее к вибрации двигателя и связанных с ним агрегатов.
4. Сильное уменьшение перегрузочной способности. Двигатель при увеличении нагрузки может снизить число оборотов до половины нормального или при пуске разгоняться только до половины нормального числа оборотов.
5. Перегрев ротора.

Обрыв в фазе ротора иногда носит временный характер, т. е. появляется только при вращении ротора под действием центробежных усилий и нагревания и не обнаруживается при измерении сопротивления обмоток фаз неподвижного ротора.

Все описанные выше явления могут иметь место и у короткозамкнутого ротора при наличии треснувших стержней или плохой заливки или заварки беличьей клетки.

Наиболее часто встречается двухслойная стержневая роторная обмотка. Соединение стержней производится пайкой или сваркой и является обычно наиболее уязвимым местом обмотки.

Загрязнение стержней вблизи места пайки проводящей пылью и маслом приводит часто к поверхностным перекрытиям между стержнями при пуске. В этом случае могут быть рекомендованы тщательное промывание ротора бензином, перепайка соединений и пропитка. Однако в ряде случаев чистка и пропитка при значительном загрязнении и общей изношенности роторной изоляции не являются радикальной мерой и требуется полная перемотка ротора. В этом случае должна быть составлена обмоточная таблица. Ротор должен быть размечен, т. е. долж-

ны быть указаны места укладки соединительных дуг и удлиненных или укороченных шагов. После распайки соединений стержни с одной стороны выпрямляются и вытаскиваются из паза. Для облегчения вытаскивания требуется прогрев ротора. Вытаскивать стержни следует при помощи приспособления (рис. 4-23), значительно ускоряющего и облегчающего удаление старой обмотки. Старую изоляцию стержней удаляют, стержни промывают бензином, отжигают и изолируют вновь. Если необходимо изготовить новые стержни, то их изгибают с одной стороны по образцу старых на приспособлении (рис. 4-24).

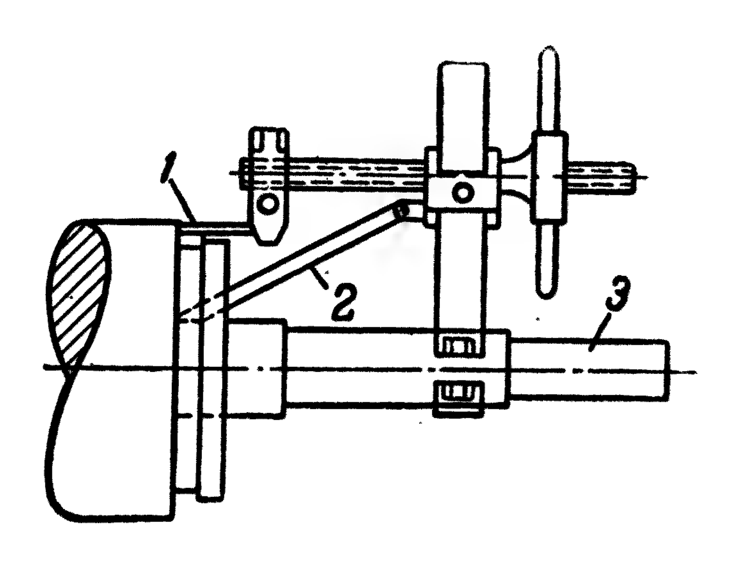


Рис. 4-23. Приспособление для вытаскивания роторных стержней.

1 — вынимаемый стержень; *2* — упор; *3* — вал.

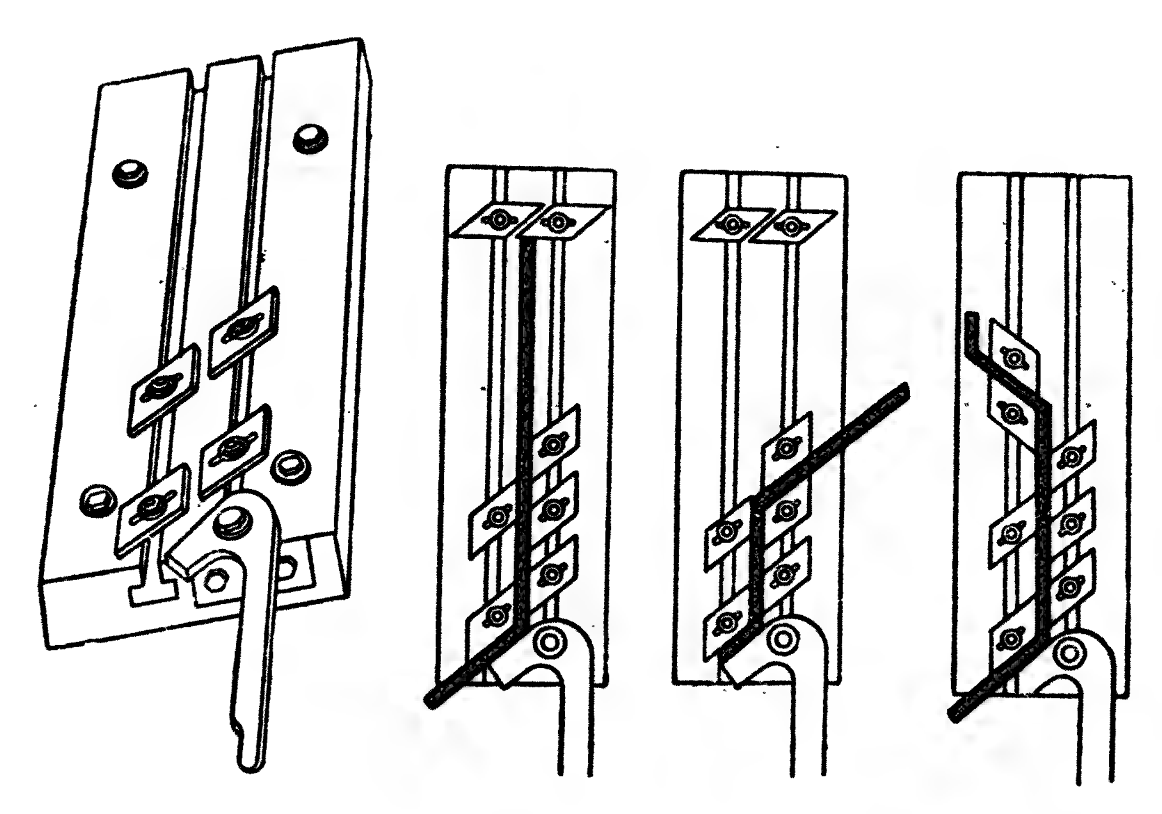


Рис. 4-24. Приспособление для гнутья роторных стержней.

Изоляция роторных стержней по классу А выполняется для напряжений на кольцах до 500 *в*. Пазовую часть изолируют обкаткой лакобумагой (см. § 2-4) толщиной 0,07 — шестью слоями для 300 *в* и десятью для 500 *в*. Лобовую часть изолируют одним слоем тафтяной ленты вполуперекрытие (300 *в*) или одним слоем лаколенты толщиной 0,2 *мм* вполуперекрытие одним слоем миткалевой ленты вполуперекрытие (500 *в*).

Смешанную изоляцию (класс А—В) выполняют, обматывая весь стержень микалентой (один слой вполуперекрытие для 500 *в*) и обкатывая пазовые части лакобумагой.

Изоляцию роторных стержней по классу В для напряжений до 1 500 *в* выполняют изолированием стержня и лобовой части микалентой толщины 0,13—0,17 *мм* (один слой вполуперекрытие для 750 *в*, два слоя вполуперекрытие для 1 000 *в*, три слоя вполуперекрытие для 1 500 *в*). В пазовой части сверх микаленты накатывают микафолий толщиной 0,2 (один слой 750 *в*, два слоя 1 000 *в*, три слоя 1 500 *в*).

На пазовую часть наносят защитный слой электрокартона, лобовые же части обматывают одним слоем тафтяной ленты вполуперекрытие.

Стык между изоляцией пазовой и лобовой частей (в тех случаях, когда нет общей ленточной изоляции этих частей) выполняют в виде обратного конуса (см. § 3-16). Изоляцию паза делают одним слоем пропитанного электрокартона.

Изоляцию класса В—С выполняют на стекломиканите с пропиткой кремнийорганическими лаками.

Подготовка ротора к укладке обмотки заключается в тщательной прочистке пазов, наложении пазовой изоляции и изоляции обмоткодержателей. Изоляция цилиндрической нажимной шайбы у малых и средних машин обычно выполняется из пропитанного электрокартона, стягиваемого лентой, с промазкой слоев клеящим лаком.

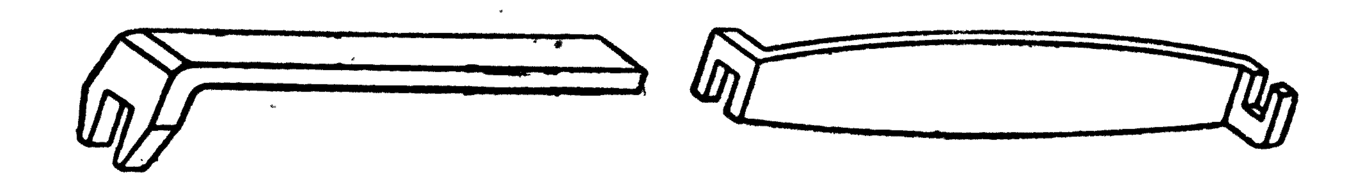


Рис. 4-25. Ключи для гнутья роторных стержней.

Вблизи мест выхода стержней из паза изоляция нажимной шайбы должна плотно подходить к пазовой изоляции, чтобы при бандажировке не получить излома изоляции паза. Перед укладкой обмотки на нажимную шайбу рекомендуется нанести на последнюю ленту с разметкой обмотки.

Первыми укладывают со стороны колец (передняя сторона) три соединительные дуги и тщательно изолируют их от нижних стержней. Затем со стороны привода (задняя сторона) вдвигают нижние стержни. Выходящие на заднюю сторону концы дуг изгибают по форме лобовой части заложенных нижних стержней. Стержни подбивают вниз фибровым молотком и стягивают тонким временным бандажом. На передней стороне нижние стержни отгибают при помощи двух специальных ключей (рис. 4-25), один из которых надевают на стержень в месте, где кончается

вылет, а вторым, надетым рядом с первым, производят отгиб.

После этого кладут изоляцию между нижней и верхней лобовыми частями и с передней стороны вдвигают верхние стержни. На передней стороне производят выгиб головки нижней секции для соединения с верхней. На задней стороне у верхних стержней отгибают наклонную часть (кроме головки), стержни осаживают и бандажируют. После этого у верхних шин отгибают головку для соединения с нижними. Верхние и нижние шины в соответствии с обмоточной запиской соединяют медными облуженными скобочками, между стержнями забивают медные луженые клинья, а между скобками для их укрепления забивают деревянные клинья. Тщательно пропаивают скобочки мягким или твердым припоем, причем наилучшим способом пайки стержневой обмотки мягким припоем является погружение мест спая в кольцевую ванну с расплавленным припоем. Далее производят пайку кольцевой шины, соединяющей обмотку в звезду. Соединение в треугольник применяется реже.

Места пайки стержней подрезают с торца резцом на станке или опиливают. Деревянные клинья выбивают и проверяют изоляцию на корпус. Временный бандаж заменяют постоянным, производят сушку и пропитку ротора.

Повреждение клеток короткозамкнутых роторов проявляется в виде трещин в замыкающих кольцах или в стержнях. Трещины в стержнях могут быть обнаружены по колебанию тока в статоре в опыте короткого замыкания двигателя при поворачивании ротора (беличьей клетки). Обнаружить обрыв стержней короткозамкнутого ротора можно при помощи магнитного ярма. Над пазами, где лежат оборванные стержни, притяжения стальной пластинки не будет, а неоновая лампа погаснет[1].

У роторов, залитых алюминием, трещина в замыкающем кольце может быть после разделки пропаяна специальным припоем: олова 63%, цинка 33%, алюминия 4%.

Для пайки ротор должен быть нагрет до 450° С.

Разделанную трещину заливают припоем, после чего ротору дают остыть. Если имеют место трещины в нескольких стержнях алюминиевой клетки, то целесообразно выплавить клетку при 700—750° С и заменить ее на медную или латунную, для чего в пазы вставляют медные или латунные стержни, электрическое сопротивление которых

[1] См. § 3-12 и 4-2.

должно быть не более, чем у алюминиевых. По торцам стержни приваривают к медному кольцу.

Ремонт роторов с медной клеткой сводится к заварке трещин в кольце и замене треснувшего стержня с последующей впайкой его по торцам в кольцо. Пайка производится медно-фосфористым припоем. Нагрев места пайки производится при помощи автогенной горелки.

При изготовлении новых клеток для получения торцового кольца может быть применен следующий метод. В пазы вставляют медные стержни требуемого сечения, выступающие по обе стороны из пазов ротора, и на торец сердечника кладут два графитовых кольца, одно внутри другого. Зазор между кольцами, в который выходят из пазов стержни, заполняют медной стружкой. Свариваемые места следует посыпать бурой. Угольным электродом стружка оплавляется в сплошное медное кольцо, и графитовые кольца удаляют. Аналогично заливают вторую сторону, после чего наплавленные кольца проходят обточку.

Перезаливка алюминием требует специальной технологии, обеспечивающей заливку пазов без трещин, пустот и подобных дефектов. Для заливки применяется алюминий (нормальные двигатели) или алюминиево-марганцовистый сплав (двигатели с повышенным скольжением). Присадка марганца улучшает литейные свойства сплава, однако резко увеличивает сопротивление. Присадка марганца более 2—3% нецелесообразна, так как увеличивается хрупкость.

Наилучшие результаты дает заливка под давлением, требующая специального оборудования. Более доступной для ремонтных цехов является вибрационная заливка, при которой заливаемый ротор помещается на свободном конце балки (другой конец балки заделывается), вибрирующем в вертикальной плоскости под действием двигателя (1 500 *об/мин*), установленного на конце балки, на валу которого посажен несбалансированный груз. Размах колебаний конца балки должен быть 3—4 *мм*. Если изготовление установки для вибрационной заливки затруднительно, то для коротких сердечников может быть применен обычный (статический) метод заливки, при котором ротор ставится наклонно и применяются высокие литники.

Алюминиевый сплав при заливке должен быть подогрет до 750—800° С (но не выше 850° С). Температура ротора при заливке обычно составляет около 450° С и не может быть допущена выше 500° С.

4-8. РЕМОНТ БАНДАЖЕЙ

Неисправности бандажей указаны в табл. 4-1.

Таблица 4-1

Неисправности бандажей

Неисправность	Причины	Ремонт
1. Разрыв	1. Слишком большое число оборотов ротора	Перебандажировка Усиление сечения бандажа
	2. Механические повреждения (задевание ротора за статор) 3. Ржавление	Перемотка
2. Распайка	Низкая температура плавления припоя	Перепайка оловом
	Разогрев вихревыми токами	Разделение бандажа по ширине на более узкие бандажи
3. Ржавление	Содрана полуда	Очистка, полуда, покраска
4. Сползание	Слабый натяг при бандажировке	Перебандажировка с предварительной сушкой под временными бандажами

Намотка новых бандажей производится по данным старых. Данные размотанного бандажа заносятся в обмоточную записку. Если применяется проволока другого сечения, то количество витков изменяют так, чтобы получить прежнее общее сечение бандажа [сечение бандажа пропорционально квадрату диаметра проволоки и числу проволок (витков)].

Бандажи должны прочно удерживать обмотку, препятствуя центробежной силе при вращении ротора или якоря выбросить ее из пазов. Чем больше число оборотов и вес меди обмотки, тем больше центробежная сила, тем прочнее должен быть бандаж, т. е. тем больше должно быть его общее поперечное сечение.

Бандажировку производят стальной бандажной проволокой с пределом упругости 160 *кГ/мм²*. Бандажи лобовых частей должны быть поставлены в тех местах, где обмотка опирается на обмоткодержатель или нажимную шайбу.

У быстроходных машин бандажи накладывают по мере укладки обмотки на уравнительные соединения и на нижний и верхний слои обмотки. При таком большом сечении бандажей через них замыкается поток рассеяния па-

зов, что для машин постоянного тока ухудшает коммутацию. Кроме того, поток рассеяния главных полюсов вызывает в бандажах токи, нагревающие их. Поэтому для быстроходных машин применяется немагнитная стальная или бронзовая бандажная проволока.

Применяемые для бандажировки станки имеют фрикционную передачу и тормоз, действующие от ножной педали, что позволяет получить моментальную остановку и плавный пуск станка. Привод якоря осуществляется переставным пальцем на планшайбе станка, упирающимся

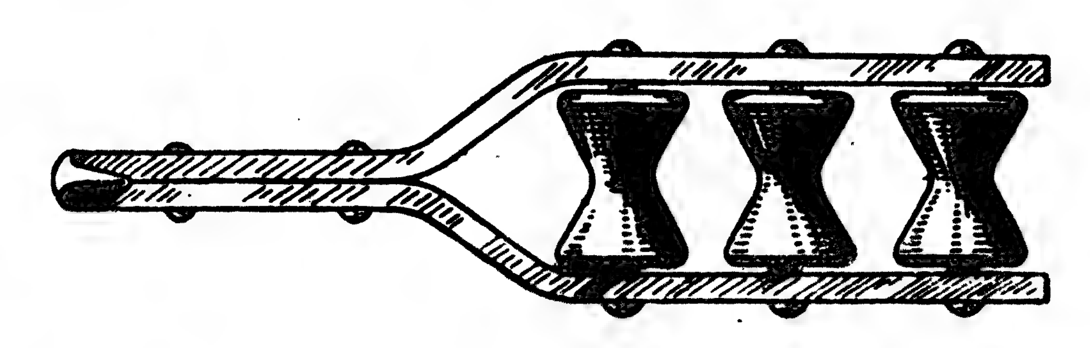


Рис. 4-26. Ролики для натяжения бандажей проволоки.

в поводок, закрепляемый на валу якоря. Для бандажировки может быть также использован токарный станок.

Для равномерной укладки витков вплотную один к другому у бандажировочных станков предусматривается специальный передвижной суппорт, направляющий проволоку через фибровую колодочку или ролик.

Для бандажировки якорей большого габарита, которые не могут быть поставлены на станок, применяются редукторные привода, вращающие якорь на каких-либо стойких или собственных подшипниках. В последнем случае вкладыши заменяются деревянными смазанными вазелином колодками.

Для якорей с диаметром до 500 *мм* бандажи могут быть наложены при вращении якоря от руки при помощи двух рычагов. Расчет усилия может быть сделан на основании рекомендуемого натяжения для стальной проволоки по данным табл. 4-2. Для натяжения проволоки служат натяжные приспособления по типу, изображенному на рис. 4-26. Количеством оборотов проволоки вокруг роликов можно отрегулировать желаемое натяжение.

Для многослойных бандажей натяжение при намотке каждого последующего слоя уменьшается на 10%.

Бухту бандажной проволоки кладут на вертикальную конусную катушку, которая не должна свободно вращаться во избежание распускания или запутывания провода. На-

мотку бандажа начинают с наложения от руки на сердечник якоря нескольких витков бандажей проволоки, ложащихся поверх идущего с бухты конца проволоки. Образовавшаяся петля при пуске бандажировочного станка затягивается и начинает тянуть бандажную проволоку с бухты. Рукой через тряпку проволоку направляют витками вразбежку до того места, где начинается укладка бандажей. Под бандаж ставят прокладки из пропитанного прессшпана (класс А), миканита или асбестового полотна (класса В). Прокладки должны быть шире бандажа на 10—12 *мм*. По мере намотки проволоки прокладки кладут по окружности якоря в стык одна к другой. По мере намотки вновь намотанные витки плотно подбивают к намотанным ранее при помощи фибровой подбойки и молотка. Через каждые 70—90 *мм* под проволоку кладут полоски жести толщиной 0,3—0,5 *мм*, шириной 10 *мм*. Длину полосок берут больше ширины бандажа на 20 *мм* с тем, чтобы после намотки бандажа концы их можно было загнуть на бандаж и пропаять. Кроме этих полосок, кладут две замочные полоски (скобки), которые удерживают концы бандажа (рис. 4-27).

Таблица 4-2

Натяжение стальной проволоки при бандажировке

Диаметр проволоки, *мм*	Рекомендуемое натяжение, *кГ*
0,8	40—50
1	50—60
1,2	65—80
1,5	100—120
2	180—200

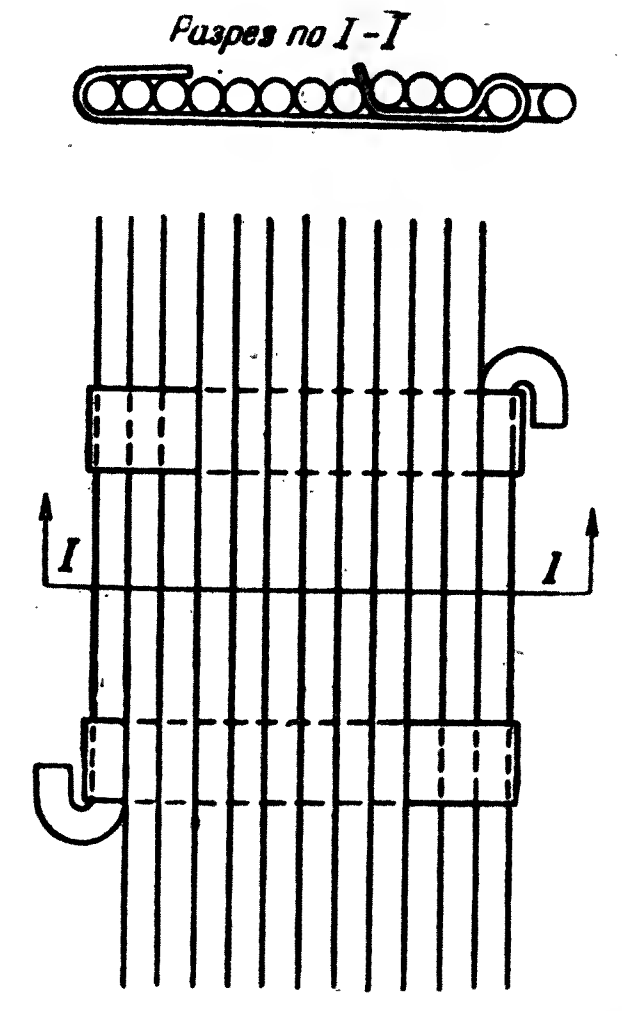


Рис. 4-27. Замочные скобки для крепления бандажей.

Намотанный бандаж пропаивают в нескольких местах оловом, после чего несколькими витками вразбежку переходят к соседнему бандажу. Когда таким образом будет намотано несколько рядом лежащих бандажей, отделяют проволоку от бухты. Концы бандажей заводят в петлю замочной скобки. Петлю затягивают за конец и пропаивают. Конец проволоки загибают и пропаивают. Пайку скобок проверяют на отгиб тонким ножом. Кроме замочных и нормальных скобок, для удержания уз-

ких бандажей между узким и соседним широким бандажами также кладут скобки. Во избежание нагрева токами эти скобки должны ставиться на расстоянии двойного полюсного деления одна от другой.

Окончательная пропайка бандажей производится тонким слоем олова по всей поверхности его, причем не должно быть наплывов олова.

При укладке бандажа нужно следить за тем, чтобы натяжение было не слишком большим и чтобы бандаж не

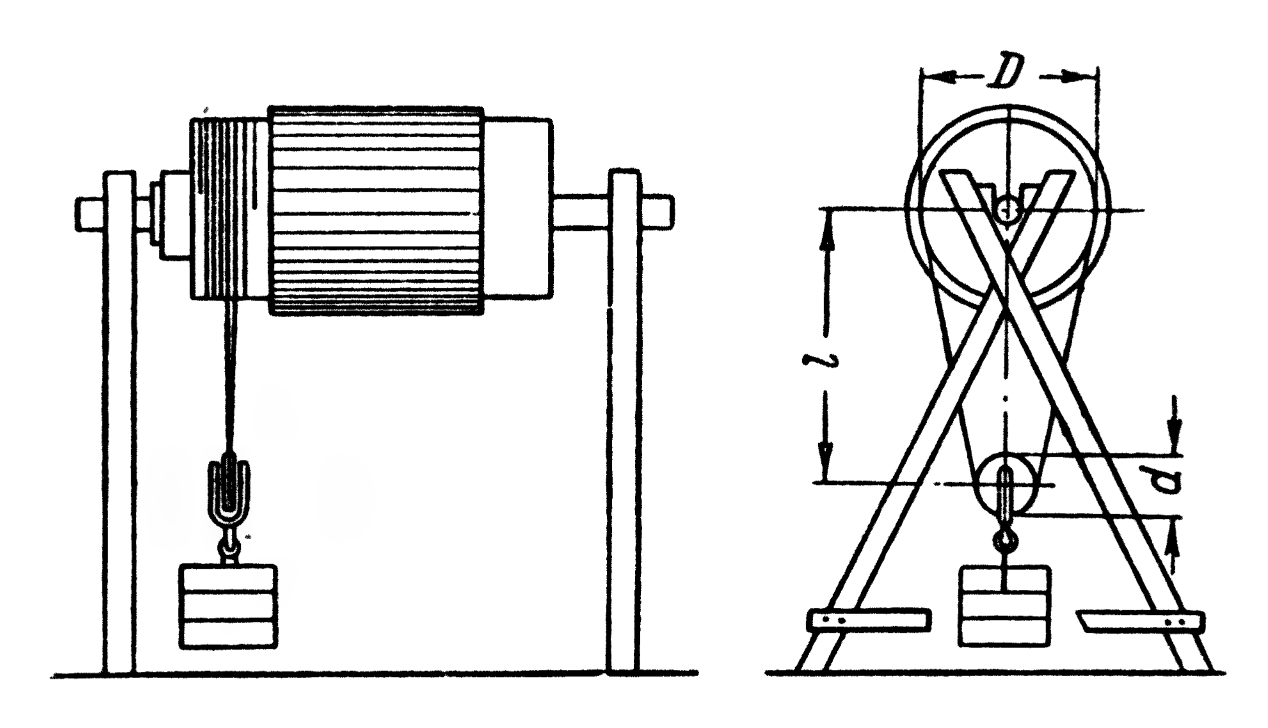


Рис. 4-28. Приспособление для намотки бандажей.

врезался в обмотку. С другой стороны, при слабом натяжении бандаж может сползать.

Для того чтобы предотвратить сползание бандажей на якорях с миканитовой изоляцией, рекомендуется на разогретый до 70—90° С якорь наложить временный бандаж для осаживания секций. По этим же соображениям не рекомендуется наложение постоянных бандажей до сушки и пропитки якоря. Сушку и пропитку следует делать с временным бандажом, а затем накладывать постоянный.

Временный бандаж для осаживания секций наматывается вразбежку поверх установленных на пазах деревянных брусков, имеющих ширину, приблизительно равную ширине паза.

Если лобовые части покрыты чехлом, то чехол заводится под бандаж. До укладки обмотки чехол со стороны привода бандажируется шпагатом к обмоткодержателю, затем заворачивается на головку обмотки и заводится под первый бандаж на сердечнике якоря.

Весьма удобным является приспособление для бандажировки (рис. 4-28), не требующее приложения больших

усилий для вращения якоря (ротора).

Нужное число витков бандажной проволоки наматывают на якорь без натяжения; начало и конец проволоки закрепляют на якоре (роторе).

После этого на предварительно надетый на проволоку ролик надевают груз и вращением якоря укладывают бандаж.

Величина груза Q определяется по формуле

$$Q = P\sqrt{4 - \left(\frac{D-d}{l}\right)^2},$$

где P — величина натяжения проволоки по табл. 4-3.

Размеры D, d, l см. рис. 4-28.

4-9. РЕМОНТ ОБМОТОК ВОЗБУЖДЕНИЯ

Возможные повреждения катушек: межвитковое замыкание, ослабление паек, обрывы, пробой изоляции на корпус.

Межвитковые замыкания, ухудшение контакта в местах паек, обрывы могут быть обнаружены по измерению напряжения на катушке при пропускании через нее тока. *Межвитковые замыкания* дают пониженное напряжение, а *ослабление паек*—повышенное напряжение на катушке по сравнению с остальными исправными катушками. При большом числе витков в катушке этот метод недостаточно чувствителен. В этом случае межвитковые замыкания могут быть обнаружены по отсчету ваттметра при надевании катушки *1* на сердечник трансформатора (рис. 4-29). Замкнутые витки обнаружатся также по нагреву катушки и пониженному напряжению на ее зажимах (по сравнению с расчетным). Для проверки межвиткового замыкания и одновременного контроля количества намотанных витков применяется схема рис. 4-30, в которой испытуемая катушка *в* включается навстречу эталонной *а*, чи-

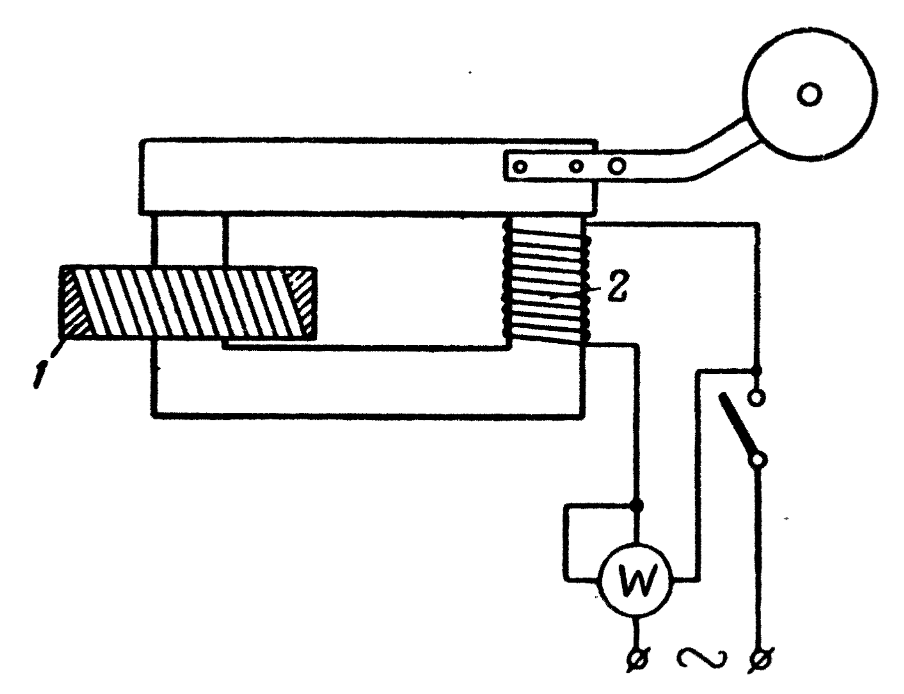


Рис. 4-29. Испытание катушки на межвитковые замыкания.

сло витков которой известно и может изменяться при помощи выводов и переключателя. Катушки помещаются на сердечник из листовой электротехнической стали и в сердечнике при помощи катушки $к_1 — к_2$ возбуждается переменный (50 *гц*) магнитный поток.

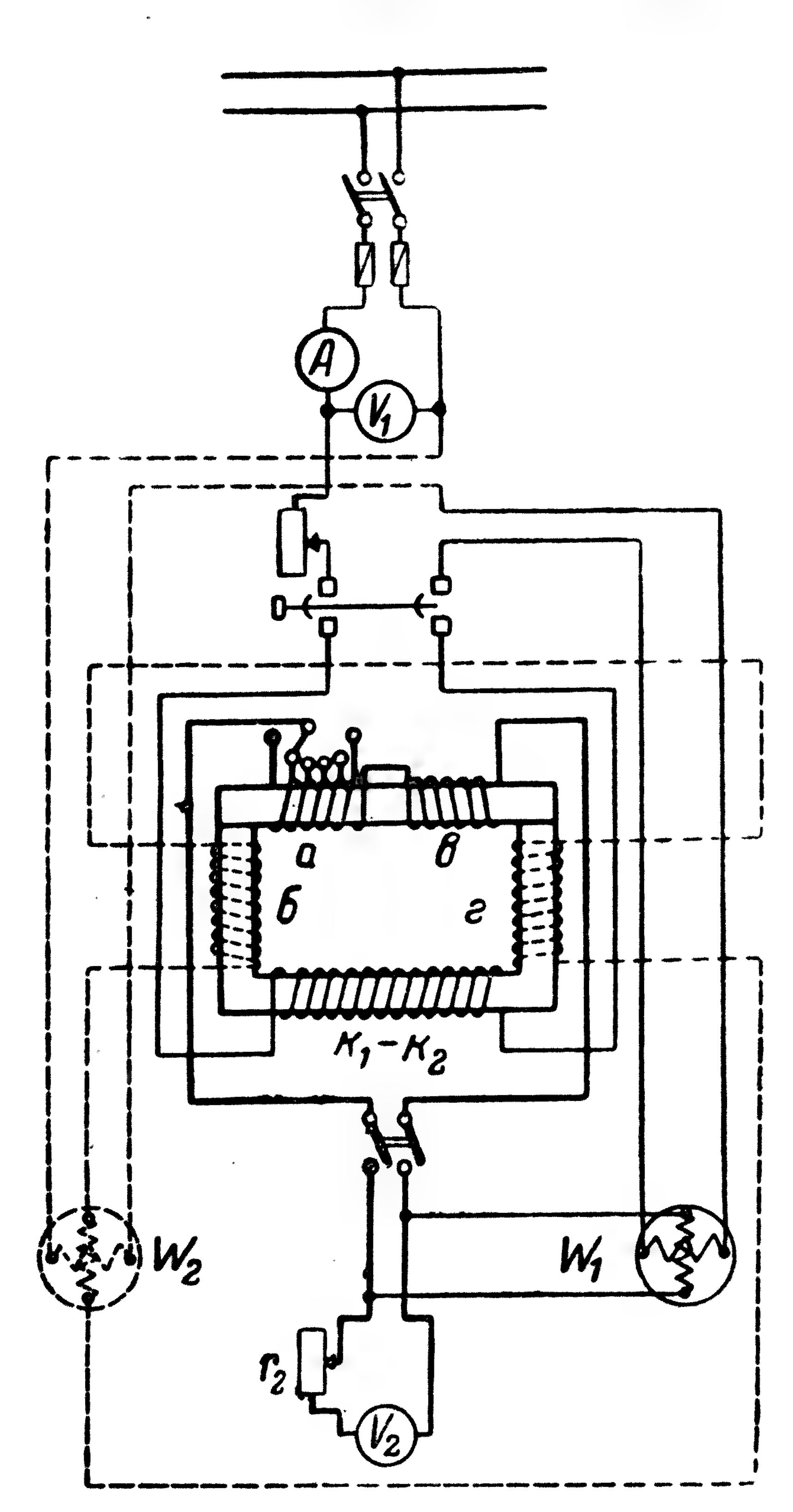


Рис. 4-30. Проверка числа витков в катушке.

$К_1 — К_2$ — намагничивающие катушки; *а* — эталон при проверке числа витков; *б* — эталон при проверке на межвитковое; *в* — испытуемая катушка при проверке числа витков; *г* — испытуемая катушка при проверке на межвитковое; W_1, W_2 — ваттметры.

Если испытуемая катушка имеет расчетное число витков и не имеет замыканий между витками, то ваттметры W_1 и W_2 не дают отклонений.

У синхронных машин межвитковые замыкания в катушках возбуждения могут быть обнаружены возбуждением статора переменным током пониженного напряжения по сравнению с номинальным при неподвижном индукторе. Катушка с короткозамкнутыми витками будет иметь пониженное напряжение.

Межвитковые замыкания в катушках возбуждения синхронных машин часто носят временный характер, появляясь при вращении ротора под действием центробежной силы. Для определения места повреждения в таких случаях нужно измерить падение напряжения в отдельных катушках роторов на ходу. Для этой цели делается специальный вывод, соединяющий по очереди межкатушечные соединения с валом машины (рис. 4-31). При помощи медных щеток, наложенных на одно из рабочих колец и вал и соединенных с вольтметром, измеряется напряжение на катушках при вращении ротора.

Определение катушки, в которой имеет место замыкание на землю, может быть произведено по схеме потенциометра, приведенной на рис. 4-32. В этой схеме параллельно обмотке возбуждения, состоящей из последовательно включенных катушек, включается реостат, а между ползушкой реостата и валом — вольтметр. Приложенное к обмотке и реостату напряжение равномерно распределяется по катушкам и обмотке реостата. Если в точке *1* обмотки есть соединение с корпусом, то эта точка имеет определенное напряжение по отношению к плюсовому питающему

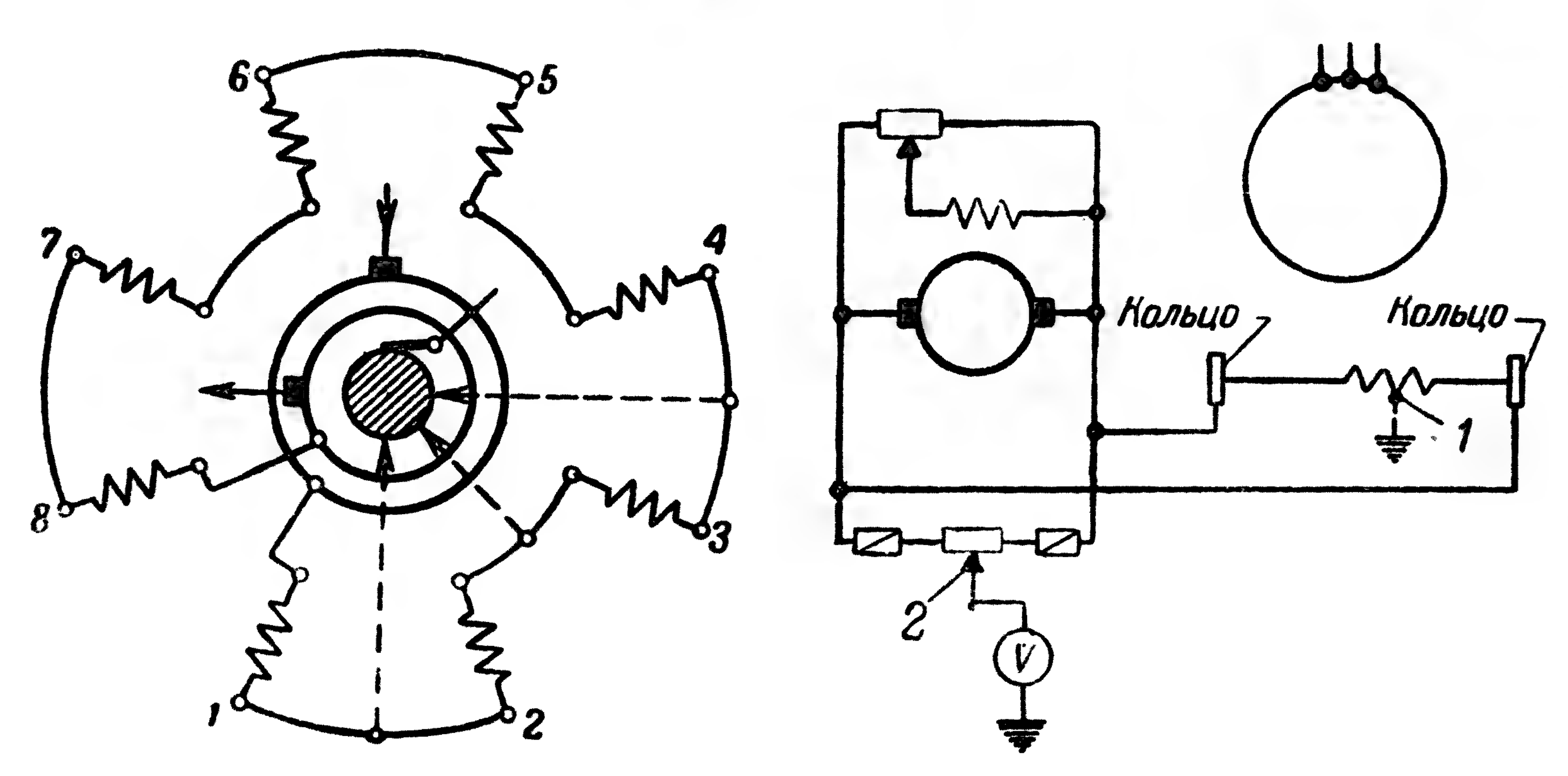


Рис. 4-31. Проверка роторных катушек на межвитковые замыкания.

Рис. 4-32. Проверка роторных катушек на замыкание на корпус способом потенциометра.

проводу или контактному кольцу. Передвигая движок реостата, можно поставить вольтметр под точно такое же напряжение (точка *2* реостата). В этот момент между точками *1* и *2* не будет существовать никакого напряжения и стрелка вольтметра станет на нуль. Этот опыт может проводиться и при вращающемся роторе. В последнем случае стрелка вольтметра может качаться, что указывает на неустойчивый характер замыкания на корпус. Положение движка реостата позволяет приблизительно найти место замыкания. Если, например, для установки стрелки вольтметра на нуль пришлось отодвинуть движок реостата на $^1/_4$ всей его длины (считая от плюсового провода), то место замыкания должно находиться в катушке, между которой и плюсовым проводом (кольцом) будет расположена четверть всего числа катушек. Опыт должен проводиться при рабочем напряжении ротора, чтобы переходные контакты между щеткой и кольцом не искажали результатов.

Успокоительные обмотки синхронных машин могут иметь повреждения в виде распайки соединений между стержнями и шинами, ослабление контактов между шинами в местах разъема и т. д.

Намотка катушек из круглой или шинной меди плашмя ведется на шаблонах из твердого дерева (рис. 4-33). Для облегчения выбивки шаблона из катушки он имеет косой разрез. Если ремонтируемая катушка была намотана на каркасе, то намотка новой выполняется на этом же каркасе. На дно шаблона укладывают ленту, которой скрепляют слои по мере их укладки. Это в особенности важно при намотке ступенчатых катушек со скосом (рис. 3-34).

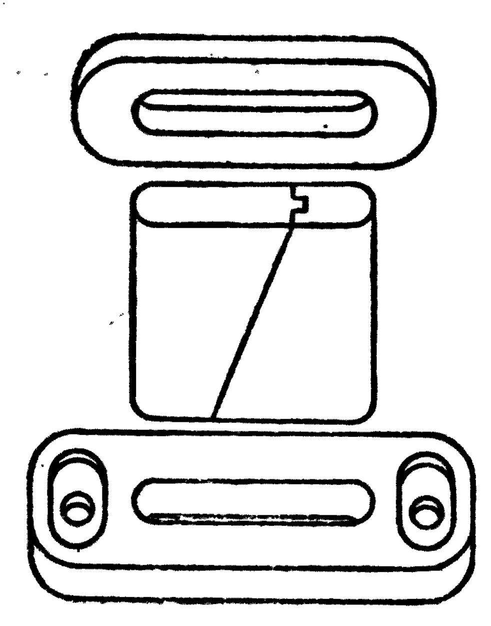


Рис. 4-33. Шаблон для намотки катушек.

Намотка катушек из шинной меди на ребро может производиться на токарном станке. Для направления шины при намотке служит специальная вилка. После намотки медь отжигают и прессуют между стальными планками для исправления деформаций сечения. Намотка катушек на ребро в условиях ремонта требуется чрезвычайно редко, так как обычно имеется возможность переизолировать старую катушку.

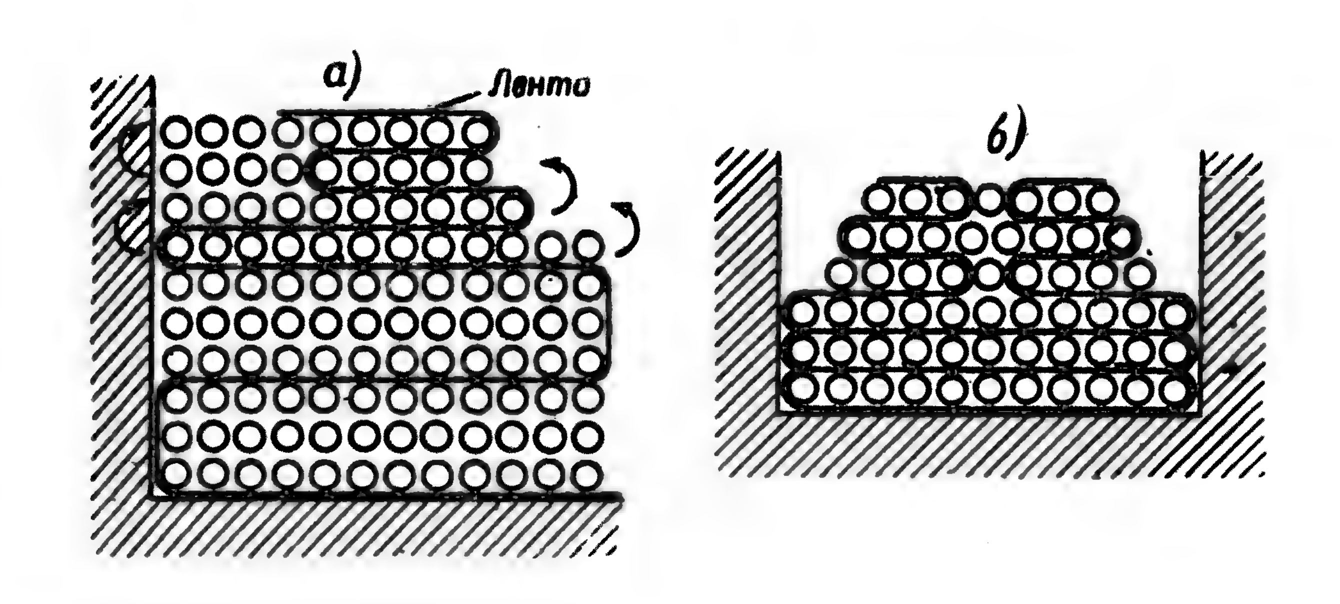


Рис. 4-34. Скрепление витков катушек лентой.

Для смены межвитковой изоляции катушку, намотанную на ребро, растягивают как пружину.

Особо тщательно нужно выполнять *изоляцию переходов из слоя в слой и выводов.* Выводы должны быть надежно

укреплены на катушке (рис. 4-35). Для катушки из меди малого сечения выводы из медной ленты, изолированной лакотканью или миканитом, бандажируют самими витками меди катушки. Для меди больших сечений, намотанной плашмя, выводные патроны, пластины и т. д. бандажируют при общей изолировке катушки, а если катушки не изолируют, то накладывают специальный проволочный бандаж, изолированный от меди.

Катушки для улучшения теплопроводности и уменьшения гигроскопичности изоляции проходят компаундировку или двукратную пропитку. Первую делают до нанесения общей (наружной) изоляции, вторую — после общей изолировки. Катушки, намотанные на ребро, до общей изолировки подвергают обычно запечке межвитковой изоляции, для чего катушку с заложенными между витками изоляционными прокладками пропитывают погружением в лак, стягивают струбциной и помещают в печь.

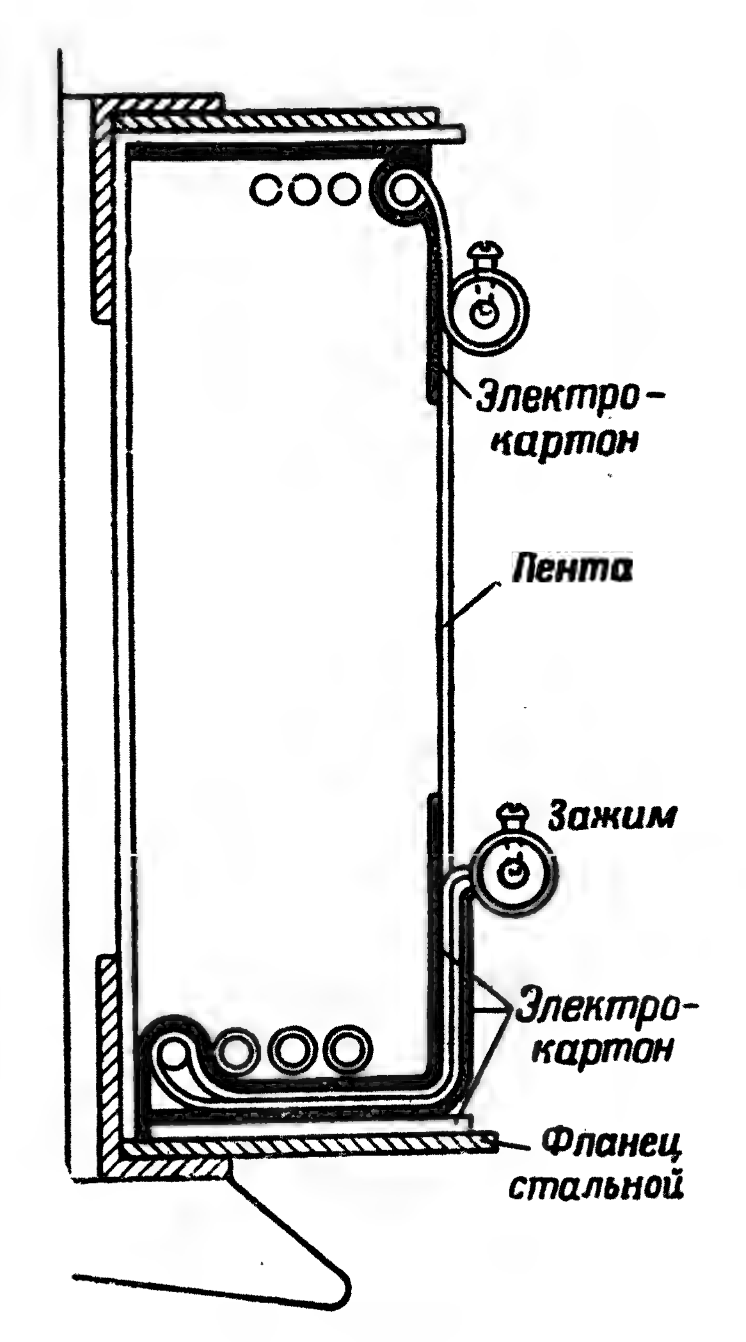


Рис. 4-35. Изоляция выводов катушек.

ГЛАВА ПЯТАЯ

СУШКА И ПРОПИТКА ОБМОТОК

5-1. НОРМЫ НА СОПРОТИВЛЕНИЕ ИЗОЛЯЦИИ МАШИН

Отсыревание машины уменьшает сопротивление изоляции и при включении машины под напряжение может вызвать пробой на корпус, межвитковое замыкание и т. д. Поэтому необходимо машину с отсыревшей или намокшей изоляцией подвергнуть сушке, после чего проверить состояние изоляции обмоток. Нужно отметить, что измерение мегомметром не дает возможности определить сопротивление изоляции между витками.

Машины, находящиеся в воде, перед сушкой нужно разобрать, промыть струей чистой воды, удалить воду из подшипниковых камер и различных внутренних полостей, протереть чистыми тряпками. Может потребоваться разборка коллектора, так как при остывании коллектора, попавшего в воду, вода засасывается во внутренние его полости.

Машины переменного тока мощностью до 100 *квт* с рабочим напряжением до 380 *в* могут быть включены под напряжение без сушки, если сопротивление изоляции обмоток статора и ротора не ниже 0,4 *Мом* (мегом — миллион *ом*). Сушка такой машины произойдет при работе машины.

Крупные машины после хранения, транспортировки и длительного бездействия должны подвергаться сушке независимо от величины сопротивления изоляции, так как удовлетворительное сопротивление изоляции по отношению к корпусу еще не характеризует состояния межвитковой изоляции.

Крупные машины переменного и постоянного тока во всяком случае не могут быть включены на рабочее напряжение, если сопротивление изоляции их ниже следующих величин:

1. Для обмоток статора машин переменного тока с рабочим напряжением выше 1 *кв*	1 *Мом* на 1 *кв* рабочего напряжения
2. Для обмоток статора машин переменного тока с рабочим напряжением ниже 1 *кв* и для машин постоянного тока	1 *Мом*
3. Для роторов асинхронных двигателей и синхронных генераторов	Не ниже 0,5 *Мом*
4. Для роторов турбогенераторов	1 *Мом*

Сушка обмоток машин может быть произведена путем нагревания обмотки: 1) горячим воздухом (внешний нагрев) и 2) током, пропускаемым через обмотки (внутренний нагрев).

5-2. СУШКА ГОРЯЧИМ ВОЗДУХОМ

Сушка машины воздухом производится в печи или, если габариты машины значительны, в замкнутой камере, сооружаемой вокруг машины. Камера обшивается теплоизолирующими материалами.

Печь или камеру нагревают паровыми трубами или вдуванием горячего воздуха, нагреваемого паровыми или электрическими калориферами. Необходимо удалять водяные пары из камеры путем устройства вентиляции.

Входное отверстие для воздуха делается внизу камеры и выходное — вверху. У машин закрытого типа при сушке должна быть обеспечена свободная циркуляция воздуха через машину, для чего должны быть открыты соответствующие крышки. Горячий воздух может подводиться непосредственно в машину без устройства камеры. Машина должна быть накрыта брезентом.

Наиболее эффективным методом сушки является сушка под вакуумом.

5-3. СУШКА ТОКОМ

Нагревание обмоток может быть произведено током от постороннего источника или током, выработанным в самой обмотке. Особая осторожность должна быть соблюдена при выборе напряжения, приложенного к обмотке, так как по мере нагревания обмотки сопротивление ее изоляции в первый период сушки падает. Сушка током может быть произведена следующим образом.

Асинхронные двигатели

а) Сушка переменным током при замкнутом и заторможенном роторе. Напряжение на статоре составляет 0,20—0,15 номинального, при этом ток статора должен быть равен номинальному. Требуется иметь источник тока с регулировкой напряжения в указанных пределах. При сушке этим способом нужно следить за температурой бандажей ротора, так как они легко могут быть перегреты и распаяны. Если бандажи перегреваются, то следует включить обмотки статора последовательно (в разомкнутый треугольник) с питанием от одной фазы.

б) Сушка переменным током разобранной машины с вынутым из статора ротором, т. е. отдельно статора и ротора. Напряжение около 0,15 номинального.

в) Сушка постоянным током. Обмотки статора включаются последовательно. Должна быть соблюдена осторожность при выключениях, чтобы не пробить изоляции обмотки. С этой целью непосредственно на зажимы обмотки следует подключить сопротивление (например, остеклованное), величина которого в 3—5 раз больше сопротивления обмотки.

г) Сушка потерями в стали статора. По этому методу сушка статора при вынутом роторе производится путем намотки на статор временной обмотки, питаемой переменным током (см. § 7-1).

Синхронные машины

а) *Сушка питанием статора переменным током* пониженного напряжения. Для машин с проволочными бандажами на роторе во избежание их распайки может потребоваться соединение обмоток статора последовательно в разомкнутый треугольник (с питанием от одной фазы) или сушка при вынутом роторе.

б) *Сушка потерями в стали статора* (см. § 7-1).

в) *Сушка постоянным током* производится при неподвижном роторе. Должна быть соблюдена осторожность при выключениях, чтобы не пробить изоляцию обмоток (шунтирование обмоток, сопротивление, плавное уменьшение напряжения и т. п.).

г) *Сушка генераторов током короткого замыкания.* Обмотки статора замыкаются накоротко и генератор приводят во вращение. Регулируя возбуждение, изменяют ток в обмотках статора. Сушку начинают при токе статора, равном около 50% номинального, а затем постепенно увеличивают его ток, чтобы получить плавный подъем температуры. Ток в статоре не должен превышать номинального. Если при этом статор имеет низкую температуру, должна быть ослаблена вентиляция.

Машины постоянного тока

а) *Сушка от постороннего источника тока.* Через якорь и катушки добавочных полюсов пропускается ток от источника низкого напряжения. Для предупреждения порчи щеток и коллектора под щетки кладут медную фольгу или медленно поворачивают якорь. Катушки возбуждения сушат от отдельного источника тока с соблюдением необходимой осторожности при размыкании.

б) *Сушка током короткого замыкания* (генераторный режим). Цепь якоря и добавочных полюсов замыкают накоротко через выключатель и предохранитель. Компаундная обмотка (если она имеется) выключается. Щетки сдвигают на одну-две пластины в направлении вращения. После этого машину приводят во вращение, постепенно увеличивая число оборотов. Одновременно сдвигом щеток против вращения увеличивают ток в якоре до требуемой величины. Если ток остается недостаточным, то снижают число оборотов и дают слабое возбуждение в шунтовую обмотку. Затем увеличивают число оборотов

и регулируют ток в катушках возбуждения. Поскольку регулировка производится сдвигом щеток, может оказаться, что машина при необходимом токе в якоре будет сильно искрить. В этом случае должен быть применен метод сушки внешним нагревом.

5-4. ТЕМПЕРАТУРА СУШКИ

Слишком высокая температура сушки может привести к сильному парообразованию в порах изоляции и порче ее. Слишком низкая температура вообще не дает возможности высушить машину. При сушке горячим воздухом температура его должна быть около 90° С для крупных машин и 110° С для небольших. Температура выходящего воздуха при сушке вентиляционными потерями[1] должна быть не выше 65° С. При нагреве обмоток током термометры, поставленные на обмотку, не должны отмечать температуру выше 70° С. Термометры должны хорошо соприкасаться с обмоткой и быть защищены от охлаждения. Если измерение температуры производится по сопротивлению обмоток, то она не должна превышать 90° С, по заложенным термометрам сопротивления или термопарам 80° С.

Повышение температуры должно быть плавным и производиться в течение 2—3 *ч* для малых и средних машин и 6—8 *ч* — для крупных.

5-5. КОНТРОЛЬ И ВРЕМЯ СУШКИ

Контроль сушки производится путем периодического измерения сопротивления изоляции. Результаты измерения заносят в протокол и по ним строят кривую сопротивления изоляции в течение всего времени сушки. В этой кривой характерны три участка. На первом участке сопротивление изоляции падает, что объясняется повышением ее температуры, на втором повышается, так как изоляция начинает сохнуть, на третьем участке сопротивление изоляции неизменно, что указывает на окончание процесса сушки. Сушка может быть закончена, если сопротивление изоляции в течение 3—6 *ч* перестает изменяться и если величина ее не ниже минимально допустимой.

При снятии последнего участка кривой следует брать точки по возможности при одинаковой температуре машины.

---

[1] Имеется в виду сушка турбогенераторов за счет потерь в вентиляторе при прекращении подачи охлаждающей воды в воздухоохладитель.

Время сушки по данным завода «Электросила» приблизительно составляет для малых и средних машин 10—20 *ч*, для больших машин открытого типа 30—40 *ч*, для турбогенераторов и больших машин закрытого типа 3—4 дня и более. Сушка под вакуумом обычно занимает около 6 *ч*.

Машины с влагостойкой изоляцией требуют более продолжительной сушки.

5-6. ПРОПИТКА ОБМОТОК

Для сохранения своих изоляционных свойств изоляция обмоток должна быть пропитана и покрыта специальными лаками — битумами. Пропитка обмоток должна производиться как в случае каких-либо ремонтов обмоток (частичная или полная замена и т. д.), так и профилактическая для восстановления необходимых свойств изоляции. Сроки проведения профилактических пропиток зависят от условий эксплуатации машины и состояния изоляции (ориентировочно 1 раз в течение 1—5 лет).

Целью пропиточных и компаундировочных (см. ниже) процессов является по возможности глубокое заполнение пустот и пор изоляции специальными составами — пропиточными лаками и битумами. Такое заполнение предотвращает проникновение в поры влаги, создает прочную теплопроводную изоляцию, резко удлиняет срок службы изоляции. Если пропитке подвергается деталь со старой обмоткой, то она должна быть тщательно очищена тряпкой, смоченной в бензине, должны быть сняты всякого рода чехлы, бандажи и т. п., под которыми могут оставаться сгустки лака.

Для удаления пришедшего в негодность (потрескавшегося, отслоившегося, потемневшего, хрупкого и т. п.) слоя покровного лака его размягчают погружением (на 15—20 *мин*) поверхности детали в растворитель (бензол, четыреххлористый углерод).

После размягчения покровного слоя его удаляют деревянными скребками и жесткими волосяными щетками. Поверхность обмотки и активной стали протирают после этого тряпками.

Подлежащая пропитке деталь (обмотка, материал) должна быть предварительно высушена для удаления влаги из пор изоляции. Сушка может быть проведена в сушильной печи при температуре 100—115° С или в вакуум-баке (см. ниже). Наилучшие результаты дает сушка под вакуумом, требующая минимального времени.

После сушки детали подвергаются пропитке. В зависимости от местных возможностей применяют различные способы пропитки.

Одним из лучших способов пропитки является погружение пропитываемой детали целиком в бак с жидким лаком, причем якоря погружают в бак вертикально коллектором вверх и деталь выдерживают в лаке до прекращения выделения пузырьков воздуха. Лак не должен доходить до петушков коллектора на 10—20 *мм*. При отсутствии достаточно большой ванны с лаком пропитку статорной обмотки можно производить обливанием обмотки при вертикальном расположении оси статора. После обливания одной стороны статор переворачивают и операция повторяется. Под статор ставят противень, в который стекает лак. Для якорей и роторов пропитка может производиться прокатыванием их в противне с лаком.

До погружения в лак детали необходимо охладить до температуры 55—70° С, так как иначе будут происходить бурное испарение разбавителя и повышение вязкости лака, обволакивающего поверхность изделия. Это обстоятельство будет ухудшать пропитку.

После пропитки деталь ставят с таким наклоном, чтобы дать стечь лаку, без задержки внутри, для чего деталь несколько раз поворачивают. Статор следует укладывать последовательно, сначала на один, затем на другой торец.

После стекания лака тряпкой, смоченной в бензине, протирают все поверхности, где недопустима лаковая пленка (выводные концы, поверхности стали ротора или статора, расточка, замки, валы и т. д.), и деталь подвергают сушке.

Если сушка до пропитки преследует цель испарения влаги, то после пропитки — удаление из пор изоляции растворителя лака, а для лаков печной сушки, кроме того, «запекание» лаковой пленки.

Температура сушки пропитанных деталей может быть выбрана выше, чем непропитанных (до 120—130° С для класса А), однако по производственным условиям обычно обе сушки проводятся при температуре 115° С.

Хорошо просушенная после пропитки деталь должна иметь лаковую пленку, совершенно не липнущую к пальцам.

Хорошо просушенная изоляция характеризуется высокой величиной сопротивления и постоянством этой величины в течение 2—4 последних часов сушки, поэтому сле-

дует проверить, достаточно ли она просушена, путем измерения сопротивления.

Установить общие нормы минимально допустимого сопротивления изоляции в процессе пропитки и сушки затруднительно, однако можно указать, что сопротивление изоляции горячих обмоток машин мощностью до 100 *квт* на напряжение до 500 *в* к концу сушки (после пропитки) должно быть следующим:

статора . . . . . . более 3 *Мом*
ротора . . . . более 1 „
якоря . . . . более 5 „

Пропитка (с последующей сушкой) может быть двух-, трех- и шестикратной. Повторными пропитками увеличивают влагостойкость изоляции. Весьма хорошие результаты, в особенности для многовитковых катушек и многослойной изоляции, дает пропитка под давлением (30 *мин*—1 *ч*, 3—4 *ати*, температура лака 60—70° С) после сушки в печи (100—110° С, 2—3 *ч*) и затем под вакуумом (1—2 *ч* при 60—70° С, остаточное давление 20—40 *мм рт. ст.*).

После такой пропитки следует сушка в течение 1 *ч* на воздухе и затем в печи при 115° С.

Для защиты лаковой пленки и для придания изоляции повышенной влагостойкости, маслостойкости, дугостойкости, химостойкости и т. д. детали (обмоткодержатели и др.) и пропитанные обмотки покрывают покровными лаками и эмалями.

Покрытие производится окраской кистями, разбрызгиванием (пульверизацией), погружением. Для машин большего габарита, которые не могут быть поставлены в печь, применяются покровные лаки, предназначенные для воздушной сушки. Для небольших машин целесообразно применение покровных лаков, допускающих печную сушку.

Покрытие обычно производится дважды.

Режим сушки и пропитки, т. е. температура и длительность процесса, зависит как от конструкции и размеров пропитываемой детали, материала, так и от типа лака. Поэтому, прежде чем будет определен режим сушки—пропитки, следует установить, какие лаки применяются для этой цели.

5-7. ЛАКИ

По своему назначению лаки делятся на пропиточные, покровные и клеящие. Последние применяются для клейки изоляционных материалов.

Основными составными частями лака являются его основа и растворитель. В состав лака, кроме того, входят различные вещества, придающие нужные свойства его пленке (мягчители-пластификаторы), ускоряющие сушку (сиккативы), придающие определенный цвет (пигменты).

По температуре сушки лаки делятся: на лаки воздушной сушки и лаки печной сушки.

По своей основе наиболее употребительные лаки делятся *на масляные, асфальто-масляные, масляно-смоляные, смоляные.*

Основой масляных лаков служат высыхающие масла, как, например, льняное, тунговое.

Лаки этой группы (№ 802, 202, 302 и др.) используются для пропитки электрокартона, тканей (получается светлая лакоткань), лакировки стали и т. д.

Основой *асфальто-масляных лаков* наряду с высыхающими маслами являются асфальты-битумы, которые могут быть либо ископаемыми, либо получаются как остаток при перегонке нефти. Применяемые нашей промышленностью краснодарский и грозненский битумы относятся к числу нефтяных. Эта группа лаков является наиболее распространенной как при пропитке обмоток и материалов (черная лакоткань), так и при клейке слюдяной изоляции. К числу лаков этой группы относятся пропиточные лаки № 318, 319, 447, 458, 460, покровные № 316, 317, 462, клеящие № 441, 462к *.

Применение этой группы лаков можно рекомендовать во всех случаях ремонта, за исключением тех, где требуется маслостойкое исполнение обмоток. Лаки № 316, 317, 318, 319 применяются для машин с напряжением до 1 *кв*, работающих в сухих помещениях.

Основой *масляно-смоляных* лаков наряду с маслами являются искусственные смолы: глифталевые, фенольно- и креозольноформальдегидные (бакелит, искусственный копал и др.).

Бакелит — искусственная смола, являющаяся продуктом химического соединения фенола и формалина, может находиться в трех состояниях: А, В, С. В состоянии А смола растворима в спирте и ацетоне и плавится при 50—

* Перечисленные лаки вырабатываются предприятиями химической промышленности.

70° С. При нагреве переходит в состояния В и С. В состоянии В нерастворима, плавится при 70—90° С. В состоянии С неплавка, нерастворима, стойка по отношению к большинству кислот и щелочей.

Глифталь — искусственная смола, получаемая из глицерина и фталевого ангидрида. Так же как и бакелит, может находиться в стадиях А. В. С. В стадии А растворим в спирте, ацетоне и бензоле, плавится при 120° С. В стадии С неплавок, химически стоек, обладает высокими клеящими и изоляционными свойствами.

Копаловая смола (в соединении с маслами) дает нагревостойкий эластичный с твердой пленкой лак. Она применяется для клейки микалент. Копаловая смола является предметом импорта. Заменителем ее служит искусственный копал, получаемый из канифоли, формалина, фенола.

К этой группе лаков принадлежат пропиточные глифтале-масляные лаки № 321, 1154, отличающиеся хорошей влагостойкостью и маслостойкостью, клеящие № 1155, 1156, 1157, пропиточный крезольно-масляный лак № 9-627, а также высококачественные покровные лаки-эмали (серые и красные воздушной и печной сушки СВД и СПД, КВД и КПД, № 1201), дающие маслостойкое, влагостойкое, химостойкое и дугостойкое покрытие обмоток.

Смоляные лаки получаются растворением смол (глифталевой № 1350, бакелитовой, шеллачной, копаловой) в спирте, спирто-бензольной смеси и других растворителях. Эти лаки применяются для клейки изоляции, а также для пропитки в тех случаях, когда желательно получить механически прочную сцементированную обмотку (быстровращающиеся обмотки возбуждения, катушки из шинной меди и т. п.).

К этой группе принадлежит, в частности, имевший ранее широкое распространение при ремонтных работах шеллачный лак, получаемый растворением шеллачной смолы в спирте (от 5 до 50% шеллака по весу). Он значительно уступает глифталевым лакам — более гигроскопичен, вредно действует на медь и т. д.

Характерной особенностью перечисленных выше лаков печной сушки, в особенности смоляных, является способность создаваемой ими лаковой пленки «запекаться», т. е. под влиянием длительного нагрева переходить в неплавкое и нерастворимое состояние (это свойство лака называется термореактивностью).

Такая пленка наиболее стойка по отношению к меха-

ническим, тепловым, химическим и другим внешним воздействиям и долговечна.

Для изоляции, изготовленной на шеллачных лаках запеканием, достигается повышение температуры размягчения шеллака. Для изоляции, изготовленной на глифталевых и бакелитовых лаках запеканием, достигается переход лаковой основы в стадию В или С. Запеканию подвергаются полюсные катушки, намотанные из шинной меди с проклейкой витков указанными лаками, роторы турбогенераторов, изоляционные гильзы и формованные из миканита детали.

Температура при запекании колеблется для шеллачных лаков в пределах 125—150° С, бакелитовых 100—120° С, глифталевых 150—200° С. Подъем температуры должен быть плавным с выдержкой на промежуточных температурах.

Время запекания зависит от сложности детали и колеблется от получаса (гильзы, катушки на ребро) до нескольких дней (роторы турбогенераторов).

Пропиточный лак должен быть добавлением растворителя (разбавителя) доведен до определенной вязкости, обеспечивающий глубокое проникновение лака в изоляцию.

Покровный лак также должен иметь определенную вязкость. Для определения вязкости применяется воронка — вискозиметр ВЗ-4 по ТУ МХП 2052-49, в которой 100 *см*³ лака вытекает через калиброванное отверстие (диаметром 4,0+0,02 *мм*, высота 4,0+0,1 *мм*).

Вязкость определяется по времени вытекания и измеряется в секундах (например, 4 сек обозначается 4″).

Значительное распространение получил также вискозиметр-воронка НИИЛК с диаметром отверстия 7 *мм*. Величина вязкости по вискозиметру НИИЛК (диаметром 7 *мм*) составляет ~$^1/_4$ от величины вязкости, измеренной вискозиметром ВЗ-4 (диаметром 4 *мм*). Например, вязкость 20″ по В З-4 соответствует вязкости 5″ по НИИЛК.

Вязкость измеряется также в градусах по Энглеру (°Э), представляющих собой отношение времени вытекания через калиброванное сопло определенного объема лака к времени вытекания того же объема воды.

Пропиточный лак должен иметь вязкость в пределах 16—25″ по воронке ВЗ-4 (диаметром 4 *мм*) при 20° С.

Пропиточному лаку № 460, применяемому при отделочных (последних) влагостойких пропитках, следует придавать несколько повышенную вязкость (21—29″ ВЗ-4). Покровные лаки, наносимые методом пульверизации, имеют

вязкость 21—33″ погружением — 29—40° и кистью — 40—60 ВЗ-4.

Для изоляции класса Н (СВ) применяют *кремнийорганические лаки. Пропиточный* ЭФЗ. Растворитель — бензин, скипидар, температура сушки 180° С, запечки 200° С.

Клеящий ЭФ5. Растворитель — толуол, бензин (с добавлением сиккатива 64Б).

Покровные эмали: ПКЭ14, ПКЭ15, разбавитель—толуол, бензин. Вязкость ВЗ-4 не менее 40 *сек*. Температура сушки 180° С. Покровная эмаль ПКЭ19 рекомендуется при ремонтных работах, она сохнет при 120° С в течение 2 *ч* и запекается при этой температуре в течение 12 *ч*.

Разбавитель — толуол с добавлением сиккатива № 63.

Для лакирования динамостали (и проводов) применяется лак К-47 с температурой сушки 250° С, вязкость по воронке ВЗ-4-40-70.

Для приближенного контроля состояния лака на ряде заводов производилось измерение удельного веса лака в пропиточном баке при помощи ареометра. Удельный вес пропиточных лаков должен быть 0,84—0,87.

Разбавитель обычно составляется из двух веществ, что дает возможность сочетать хорошие растворяющие свойства с определенной скоростью испарения.

Для асфальто-масляных и масляно-смоляных лаков применяются разбавители, состоящие из: 1) бензина (или скипидара, или уайт-спирита) 60—40%; 2) бензола (или толуола, или ксилола) 40—60%.

Разбавитель, состоящий из 40% скипидара и 60% толуола, применяется для лаков № 458, 321 при пропитке обмоток из эмальпровода и обмоток, изолированных лакотканью. Этот же разбавитель применяется для покровных эмалей, причем вместо скипидара может быть взят уайт-спирит. Смоляные лаки растворяются смесью: этиловый спирт 50%, толуол (бензол) 50%. Применение одного бензина может вызвать свертывание лака.

Температура разбавителя и лака должна быть одинаковой. Рекомендованный разбавитель вливается небольшими порциями при тщательном перемешивании. Несоблюдение указанных правил может привести к свертыванию (образованию хлопьев) лака. Свернувшийся лак для пропитки непригоден. После разведения лака производится проверка даваемой им лаковой пленки. Для этой цели в лак опускается полоска тонкой гладкой бумаги. Получившаяся на ней *пленка не должна иметь крупинок.* При наличии крупинок лак должен быть подогрет и тщательно перемешан, после чего снова следует проверить лаковую пленку.

Испытание лака на пропитывающую способность, нагревостойкость, маслостойкость, водопоглощаемость, электрическую прочность пленки, продолжительность высыхания, стойкость против разбрызгивания производят по специальной методике, указанной в ГОСТ 2256-43.

В частности, испытание на стойкость против разбрызгивания важно для случаев, когда пропитываются вращающиеся детали (якоря, роторы и т. п.).

Если необходимо заменить одни лаки другими, испытания проводят как сравнительные, что дает возможность установить необходимые изменения режимов пропитки, окраски, сушки или пригодность лака вообще.

Бак, в котором содержится пропиточный лак, должен периодически (1 раз в неделю) очищаться тряпками, смоченными в бензине, а лак фильтроваться через два-три слоя частой металлической сетки с диаметром отверстий 0,2 *мм*.

Масло, выступившее после пропитки старых обмоток на поверхности лака, должно быть удалено.

Входящие в состав растворителей вещества, в особенности бензол, *оказывают вредное действие* на организм человека. Поэтому при работе с лаками и растворителями должны быть выполнены определенные санитарные требования. Вентиляция помещения, где производится работа с лаками и растворителями, должна соответствовать нормам по максимально допустимой концентрации паров растворителя в воздухе, должен быть душ для рабочих, специальная паста для рук и т. д.

При переливании растворителей металлическая посуда должна быть заземлена во избежание искрения от электризации и вспышки паров растворителя.

Кроме того, должна быть учтена большая пожароопасность пропиточной установки, связанная с легкой воспламеняемостью паров растворителя.

5-8. РЕЖИМЫ СУШКИ И ПРОПИТКИ

Ориентировочные данные по режимам сушки и пропитки приведены в табл. 5-1. При выборе режимов необходимо иметь в виду следующее:

1. Приведенное в таблице время сушки является ориентировочным. Более точно время сушки может быть установлено по сопоставлению изоляции и отсутствию отлипа. Большие значения времени, приведенные в таблице, относятся к машинам 100 *квт* и выше, меньшие — к малым ма-

Деталь, материал	Сушка до пропитки		Пропитка		
	Температура, °С	Время, ч	Лак	Температура, °С	Время
Лента хлопчатобумажная	110—115	3—4	447, 441	60—70	12 *ч*
Лента асбестовая . .	110—115	3—4	447, 441	60—70	24 *ч*
Электрокартон, полотно	110—115	1	Льняное масло	90	2 *ч*
Катушки, секции из провода ПЭЛШО, ПЭЛБО	100	2—3	447, 458, 321	60—70	3—5 *мин**
То же ПБД	110—115	2—3	447, 458, 321, 9—627, 1154	—	5—10 *мин**
Катушки из провода ПЭЛ	100	2—3	321, 458 на скипидаре	50—60	4—8 *мин**
То же ПЭВ	100	2—3	447, 458 321, 1154	—	—
Обмотанные статоры	110—115	3—12	447, 458, 318	60—70	10—30 *мин**
Обмотанные роторы	110—115	3—12	447, 458, 318	60—70	10—30 *мин**
Обмотанные якоря	110—115	3—12	447, 458, 318	60—70	10—30 *мин**
Влагостойкое исполнение					
Обмотанные статоры	110—115	4—16	447, 460, 321, 1154	60—70	10—30 *мин**
Обмотанные роторы	110—115	4—16	447, 460, 321, 1154	60—70	10—30 *мин**
Обмотанные якоря	110—115	4—16	447, 460, 321, 1154	60—70	10—30 *мин**

* До прекращения выделения пузырей.

питки и сушки

Сток лака, ч	Сушка после пропитки		Покрытие		
	Темпера-тура, °С	Время, ч	Лак-эмаль	Темпера-тура, °С	Время, ч
3—4	110—115	1	—	—	—
3—4	110—115	1	—	—	—
3—4	20	6	—	—	—
0,5	110—115	3—8	460**	110—115	10—15
—	—	—	СПД	110—115	5—8
0,3	110—115	5—12	—	—	—
—	—	—	—	—	—
0,5	110—115	4—18	316, 462п СВД	20	6—24
0,5	110—115	4—18	СПД	70—80	4—12
0,5	110—115	4—18	СПД, 1201	110—115	3—10
0,5	110—115	6—24	462, СВД	20	6—24
0,5	110—115	6—24	СПД	110—115	3—10
0,5	110—115	6—24	460, СПД	110—115	6—12

** Для отделочной пропитки после нанесения общей изоляции катушек.

шинам менее 1 *квт*. Чем толще изоляция обмоток от корпуса, чем больше витков в катушках-секциях, тем больше время сушки и пропитки..

Приведенное в таблице время отнесено, за исключением некоторых позиций, где нужна более низкая температура, к сушке при температуре 115° С.

2. Для машин нормального исполнения, работающих в сухих помещениях, пропитка обмотанных статоров, роторов, якорей, а затем покрытие проводятся 1—2 раза.

Для машин повышенной влагостойкости пропитка статоров, роторов, якорей проводится 2—3 раза; влагостойкого и химостойкого исполнения — до 5 раз. Покрытие производится дважды. Каждая последующая пропитка проводится с сокращением времени пребывания в лаке и удлинением времени сушки после пропитки. Для якорей (роторов) с открытым пазом и креплением обмотки бандажами во избежание их ослабления рекомендуется проводить все пропитки, кроме последней, с временными бандажами. Перед последней пропиткой накладывают постоянные бандажи, проводят сокращенную по времени сушку и затем последнюю пропитку и наиболее продолжительную сушку. Для вращающихся обмоток время сушки должно быть выбрано достаточным, чтобы предупредить разбрызгивание лака при запуске машины.

3. Пропитка секций и катушек (п. 4, табл. 5-1) проводится 2 раза. Мягкие секции всыпной обмотки пропитывают в жидком лаке (10—12″ ВЗ-4).

4. Пропитка катушек из провода ПЭЛ (п. 5, табл. 5-1) проводится лаком № 458 на скипидаре, так как другие растворители, в особенности бензол, вредно действуют на эмалевую изоляцию провода. Температура и время пребывания в лаке выбираются минимальными. Многовитковые катушки целесообразно пропитывать с применением вакуум-процесса. Температуру сушки проводов с винифлексовой изоляцией во избежание потери гибкости изоляции следует принимать не выше 100° С.

5. Нанесение покровных лаков воздушной сушки (№ 462, СВД) пульверизатором проводится дважды с промежуточной подсушкой 30 *мин*. Для ускорения сушки покровных лаков-эмалей воздушной сушки может применяться нагрев до 70—80° С. Покровные лаки рекомендуется наносить на горячие (неостывшие) обмотки.

6. Изоляция класса Н (СВ) пропитывается кремнийорганическими лаками ЭФЗ и покрывается кремнийорга-

ническими эмалями ПКЭ14, ПКЭ19. Сушка пропитанной изоляции производится в течение 2—3 *ч* при температуре 120° С, а затем при температуре 180—200° С. Эмаль ПКЭ19 может сушиться при 120° С.

7. Пропитка машин химостойкого исполнения проводится лаком № 477, 1154, 9627. Покрытие — эмалью СПД.

8. Для защиты лобовых частей обмотки статоров небольших асинхронных двигателей от разрушающего действия пыли, влаги, кислот, щелочей применяется обмазка пастой типа ЭЛСИ (бакелитовый или глифталевый лак 35%, тальк 32%, цемент 32%, растворитель — толуол). Пасту наносят рукой или деревянной лопаточкой дважды. После первого нанесения пасты, заполняющей все неровности лобовой части, следует сушка на воздухе, а затем в печи при температуре 80—120° С в течение 4—6 *ч*.

Далее, наносится второй слой, создающий гладкую ровную поверхность лобовой части без отдельных выступающих проводников и т. п. После сушки второго слоя поверхность лобовой части покрывается покровным лаком или эмалью.

Следует иметь в виду, что обмазка лобовой части ухудшает теплоотдачу и на 10—15% снижает допустимую по нагреву мощность. Перед нанесением пасты на обмотку, бывшую в эксплуатации, следует тщательно очистить обмотку от пыли, грязи, масла и т. п.

5-9. СУШИЛЬНЫЕ ПЕЧИ

Температура в сушильных печах должна быть не ниже 115° С. Снижение температуры до 105° С увеличивает время сушки на 25—50%, а при температуре ниже 90° С сушка практически прекращается. В сушильных печах должен происходить обмен воздуха для удаления паров растворителя, в противном случае изоляция не будет сохнуть. Наиболее совершенным типом сушильных печей является печь с циркуляцией горячего воздуха.

В печь этого типа горячий воздух, нагретый либо в калорифере, либо нагревателями, расположенными вдоль стенок внутри печи, вдувается вентилятором. Прошедший через сушильную печь охлажденный воздух вновь поступает в нагреватель и цикл повторяется. Часть воздуха выбрасывается через дроссельную заслонку, за счет чего в печь подсасывается свежий воздух. Эти печи дают наиболее равномерную температуру по всему объему.

Печь может быть сделана из кирпича или из листовой стали с обмазкой теплоизолирующим материалом (глина с асбестовым волокном и т. п.). Воздуховоды также должны быть теплоизолированы. При изготовлении печи должно быть обращено внимание на создание равномерной скорости прохождения воздуха через весь ее полезный объем.

Для этой цели желательно подавать горячий воздух по всем четырем (включая дверку) сторонам снизу печи. Обратный воздуховод

может быть выполнен в виде плоского короба, расположенного вдоль середины и на потолке печи.

Равномерность температуры внутри печи контролируется при ее наладке термометрами в различных точках печи, где будут находиться в дальнейшем подвергающиеся сушке изделия. Для достижения наибольшей равномерности подача воздуха в различных точках воздуховода регулируется изменением размеров выходных отверстий, постановкой заслонок, козырьков и другими средствами.

Для нагрева воздуха может быть применен либо пар, либо электроэнергия. Выбор способа нагрева зависит от местных топливно-энергетических возможностей.

Следует подчеркнуть особую пожарную опасность сушильной установки, связанную с легкой воспламеняемостью паров растворителя.

С этой точки зрения наилучшим является паровой обогрев сушильной печи паровым калорифером или трубами, расположенными вдоль стенок печи. Давление пара должно быть не ниже 4,5—5 *ати*.

Электрический обогрев сопротивлениями, расположенными в калорифере, допустим только при условии, если сопротивления изолированы от объема печи и исключено воспламенение газов, выделяемых в печи во время ее работы. Все соединения должны быть выполнены сваркой латунью.

На 1 $м^3$ объема печи требуется мощность 1,5—3 *квт*, причем необходимо предусмотреть возможность форсировки (переключением сопротивлений) для работы с быстрым обменом воздуха в первый период сушки сильно отсыревших машин.

Более надежной является система, в которой при помощи электрических сопротивлений, погруженных в масло, его нагрев производится в отдельном помещении, а горячее масло насосом (шестеренчатым) подается через змеевики, расположенные в печи, или через калорифер, обогревающий циркулирующий в печи воздух.

Рекомендуется применение масла с высокой температурой вспышки, например, марки «вапор» или цилиндровое.

В установках с электронагревом весьма просто может быть применено автоматическое регулирование постоянной температуры в печи.

Если ремонтный участок не располагает возможностями для осуществления способов нагрева, приведенных выше, то может быть применен обогрев топкой, однако при условии, что воздух внутри сушильной печи нагревается горячим воздухом топки за счет теплопередачи через стенки,

причем возможность непосредственного смешивания воздуха в шкафу с воздухом в топке исключена (например, сварной металлический теплообменник, испытанный на отсутствие утечки между камерами, и т. п.).

Новым методом сушки является сушка *инфракрасными лучами*. Нагрев деталей производится лампами накаливания специальной конструкции[1]. Этот метод представляет при ремонте значительные удобства, так как облучение лампами может быть легко организовано на месте ремонта. Для сушки статора при вынутом роторе лампы могут быть вдвинуты в расточку статора; для сушки якоря они могут быть расположены по его окружности и т. д.

Конвейерные печи с лампами с успехом применяются для сушки лакированной электротехнической стали. Мощность одной лампы 500 *вт*. При сушке лампами на месте ремонта должно быть обеспечено удаление паров растворителя и приняты меры против возможного электрического искрения в питающей лампы системе (шины, патроны, выключатели и т. д.).

5-10. КОМПАУНДИРОВКА И ВАКУУМ-СУШКА

Компаундировкой называется пропитка обмотки жидким битумом или битумом, смешанным с маслом и канифолью (пропиточными массами). Компаундировка позволяет получить высококачественную изоляцию. В отличие от лака разжижение массы не требует применения растворителей и достигается разогреванием ее. Поэтому после застывания массы обмотка получается более монолитной с хорошо заполненными пустотами. Отсюда — повышенная теплопроводность, влагостойкость и хорошие электрические качества изоляции. Вследствие большой вязкости массы по сравнению с лаками для вдавливания ее в поры изоляции компаундирование проводится под давлением 6—8 *ати*. [Хорошие результаты дает также пропитка лаком под давлением (после вакуум-сушки), применяемая для наиболее ответственных якорей и роторов.] Чтобы лучше удалить влагу и воздух перед компаундировкой, применяется сушка под вакуумом, т. е. с откачкой воздуха из бака, где производится сушка.

Для компаундирования применяется масса, состоящая из краснодарского битума 74%, канифоли 5% и льняного масла (Нефтесбыт № 220-Д).

---

[1] Лампы производятся Московским электроламповым заводом.

Схема установки для вакуумной сушки и компаундировки под давлением показана на рис. 5-1. Подлежащая компаундировке деталь помещается в пропиточный котел с герметически закрывающейся крышкой (на свинцовой прокладке). Вначале производится подсушка — прогрев деталей в течение 2—3 *ч* при открытой крышке пропиточного котла. В рубашку пропиточного котла дается пар при давлении не ниже 8 *ат*. Может применяться также обогрев рубашки пропиточного котла горячим маслом, нагреваемым электрическими сопротивлениями. Затем крышка закрывается, и при помощи вакуум-насоса из пропиточного котла выкачивается воздух до возможно большего разрежения. Для ускорения откачки она первоначально может производиться переключением компрессора на всасывание при помощи четырех кранов, воздухопровода (рис. 5-1). Затем включается вакуум-насос. Откачку удается довести до остаточного давления 20 *мм рт. ст.* Сушка под вакуумом продолжается 3—4 *ч*, а при изготовлении наиболее ответственных секций (мощные высоковольтные генераторы) процесс подсушки и сушки длится 21—27 *ч*. После этого открывают кран и масса из смесительного котла, где она находится в разогретом жидком состоянии, засасывается в пропиточный котел, так что деталь оказывается целиком погруженной. Подогрев массы производится в котле с рубашкой для обогрева и вращающейся мешалкой, служащей для размешивания битума. Все трубопроводы, по которым проходит масса, должны иметь рубашки для обогрева их паром (или маслом). После того как масса заполняет пропиточный котел, кран от вакуум-насоса закрывается и внутренний объем пропиточного котла сообщается с компрессором. В пропиточный котел нагнетается воздух до давления 7—8 *ати*. Деталь выдерживается под давлением 5—8 *ч*. Для того чтобы масса была достаточно жидкой и хорошо проникала в изоляцию, температура в пропиточном и смесительных котлах должна быть 150—170° С*.

Для удаления сгустков массы детали перед компаундировкой обматывают временной лентой, удаляемой после окончания процесса вместе с налипшими на нее сгустками. При компаундировке обмотанных статоров достаточно дать

* Необходимо отметить, что процесс компаундировки требует точного соблюдения заданного режима. При слишком высокой температуре битума он легко проникает в глубь изоляции, но она остается недопрессованной. Секции обмотки получаются толстыми. При слишком низкой температуре изоляция хорошо прессуется, но битум плохо пропитывает изоляцию.

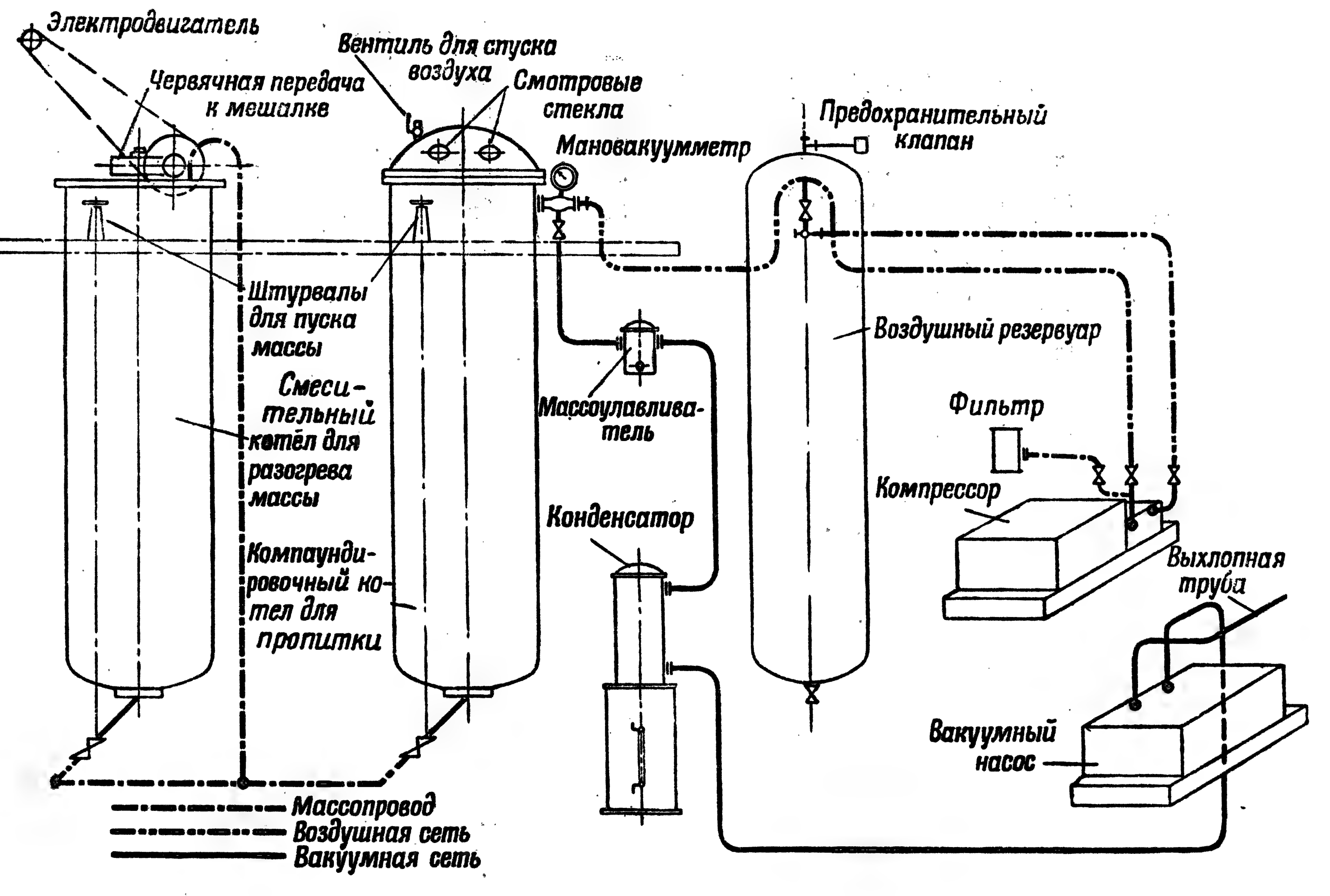


Рис. 5-1. Схема установки для компаундирования.

стечь с лобовых частей излишкам массы. Расточки статоров, шейки вала, сочленяющиеся поверхности очищают тряпкой, смоченной в бензине. С течением времени находящаяся в смесительном котле нагретая масса загустевает («зарезинивается»). Для восстановления свойств массы к ней добавляется разбавитель—75% краснодарского битума, 25% льняного масла. Если ремонтный цех не располагает оборудованием для компаундировки, то она заменяется многократной пропиткой.

Если *компаундировке* или *пропитке подвергаются детали, уже имеющие лаковую пленку* (обмотка из эмалированной проволоки, лакоткань и т. д.), то эта пленка может быть разрушена действием растворителя. Чтобы этого избежать, при пропитке таких изделий нужно по возможности уменьшить температуру и продолжительность пропитки. Сушку вначале нужно вести при невысокой температуре до тех пор, пока не испарится растворитель.

Компаундировку в этом случае производят битумом, не содержащим льняного масла.

ГЛАВА ШЕСТАЯ

РЕМОНТ КОЛЛЕКТОРОВ И ЩЕТКОДЕРЖАТЕЛЕЙ

6-1. КОММУТАЦИЯ

При вращении якоря щетки происходит непрерывное переключение коллекторных пластин и связанных с ними секций, называемое коммутацией.

Если плотность тока, т. е. ток, приходящийся на единицу поверхности соприкосновения щетки с коллектором, в каком-либо месте этой поверхности становится слишком большим, материал щетки раскаливается до свечения, появляются маленькие дуговые разряды, которые мы наблюдаем в виде искрения под щеткой. Искрение постепенно разрушает щетки и поверхность коллектора.

В зависимости от силы искрения разрушение коллектора или щетки идет быстрее или медленнее. При очень сильном искрении вольтова дуга вытягивается вращающимся коллектором из-под щетки и перебрасывается на щетки другой полярности. Машина и сеть оказываются при этом замкнутыми через вольтову дугу накоротко. Это явление, носящее название кругового огня, сильно разрушает машину. Наиболее надежны в эксплуатации машины, имеющие

безыскровую коммутацию, т. е. коммутацию без заметного искрения или с очень слабым, допустимым искрением.

У таких машин поверхность соприкосновения щетки с коллектором представляет блестящее сплошное зеркало без матовых изъеденных искрением полос.

Поверхность коллектора имеет ровный блестящий коричневый цвет, так называемую коллекторную политуру, без черных матовых пятен и подгаров краев пластин.

Условия для безыскровой коммутации

Для обеспечения безыскровой работы должен быть выполнен ряд условий, обеспечивающих надежный контакт между щеткой и коллектором и равномерную допустимую нагрузку током рабочей поверхности щетки.

Надежный контакт между щеткой и коллектором будет иметь место в том случае, если поверхность коллектора гладкая без выступающей слюды или отдельных пластин, без вмятин, подгаров, без эксцентрицитета или биения. Щетки должны свободно скользить в обоймах щеткодержателей, но без качки и с достаточной силой прижиматься к коллектору. Эта сила проверяется пружинным динамометром (безменом) и должна соответствовать данным завода-изготовителя (табл. 6-1).

Болты, траверсы, пальцы, на которых крепятся щеткодержатели, должны быть достаточно жесткими и не иметь вибраций, качки и т. п. Якорь машины должен быть отбалансирован и вращаться без вибраций. Таким образом, получение надежного контакта приводит в первую очередь к требованию механически устойчивой, спокойной работы щетки.

Равномерная допустимая нагрузка током рабочей поверхности щетки требует выбора щетки нужного размера и работы всей поверхностью. Щетки для этого должны быть тщательно притерты к коллектору.

Притирка производится стеклянной шкуркой, протягиваемой под щеткой в направлении вращения коллектора. Вначале применяется более грубая шкурка, а затем самая мелкая. После притирки обязательно следует продуть машину сжатым воздухом. Для проверки качества притирки машина запускается на холостой ход. Если притирка сделана хорошо, то после 15—30 *мин* работы по всей поверхности щетки появятся блестящие зеркальные следы, а после 1—4 *ч* почти вся поверхность щетки становится зеркальной. Величина рабочей поверхности щетки должна

Таблица 6-1

Щетки. Технические данные

Марка	Плотность тока, $а/см^2$	Допустимая окружная скорость, *м/сек*	Удельный нажим $Г/см^2$	Падение напряжения на две щетки, *в*	Область применения
Т2, Т6	6	10	200—250	1,5—2,5	Твердые угольные. Для машин малых мощностей с высокими напряжениями между пластинами (радиоумформеры, электроинструмент и т. д.)
УГ2	8	15	200—250	1,6—2,4	
УГ4	7	12	200—250	1,6—2,6	
Г1	7	12	200—250	1,7—2,7	Графитовые. Машины постоянного тока мощностью до 30 *квт*, напряжением 110, 220 *в*
Г2	8	15	200—350	1,2—2,2	
Г3	10—11	25	200—250	1,5—2,3	То же. Сварочные и электролизные машины, контактные кольца
Г8	11	25	200—300	1,5—2,3	
ЭГ-2	10	25	200—250	2,15—3,35	Электрографитированные. Для коллекторных машин всех типов (за исключением высоковольтных малой мощности и низковольтных для напряжений до 24 *в*), в особенности при тяжелых условиях коммутации
ЭГ-2а	10	45	200—250	2,0—3,2	
ЭГ-4	12	40	150—200	1,6—2,4	
ЭГ-8	10	40	200—400	1,9—2,9	ЭГ-4 применяется также для колец
ЭГ-14	10—11	40	200—400	2,0—3,0	
ЭГ-83	9	45	175—220	2,0—3,0	
ЭГ-84	9	45	175—220	2,5—3,5	
М1	15	25	150—200	1,0—2,0	Медно-графитные. Для низковольтных машин (автомобильные, зарядные, двигатели электрокар и т. п.)
М3	12	20	150—200	1,4—2,2	
М6	15	25	150—200	1,0—2,0	
М20	12	20	150—200	1,0—1,8	
МГ	20	20	180—230	0,1—0,3	Медно-графитные. Для работы на контактных кольцах и коллекторах с напряжением 6—60 *в*
МГ2	20	20	180—230	0,3—0,7	
МГ4	15	20	180—230	0,6—1,6	
МГБ	18	20	200—250	0,6—1,4	
МГС5	15	35	200—250	<2,0	
МГС6	15	25	200—250	<2,0	
МГС	20	20	200—250	<0,4	
БГ	20	20	180—230	0,2—0,4	Бронзо-графитные. Для работы на кольцах и для коллекторов низковольтных (до 12 *в*) машин

быть выбрана так, чтобы на 1 $см^2$ ток не превышал значений, указанных в табл. 6-1.

Для равномерной нагрузки щеток необходимо, чтобы ток машины распределялся на все щетки поровну. Это требование особенно важно в машинах на большие токи (генераторы для гальваностегии), где на коллекторе установлено большое количество щеток. Для выполнения этого условия нужно, чтобы щетки располагались строго по оси коллектора (рис. 6-1,*а*). Для равномерного износа коллектора щетки в осевом направлении должны быть сдвинуты

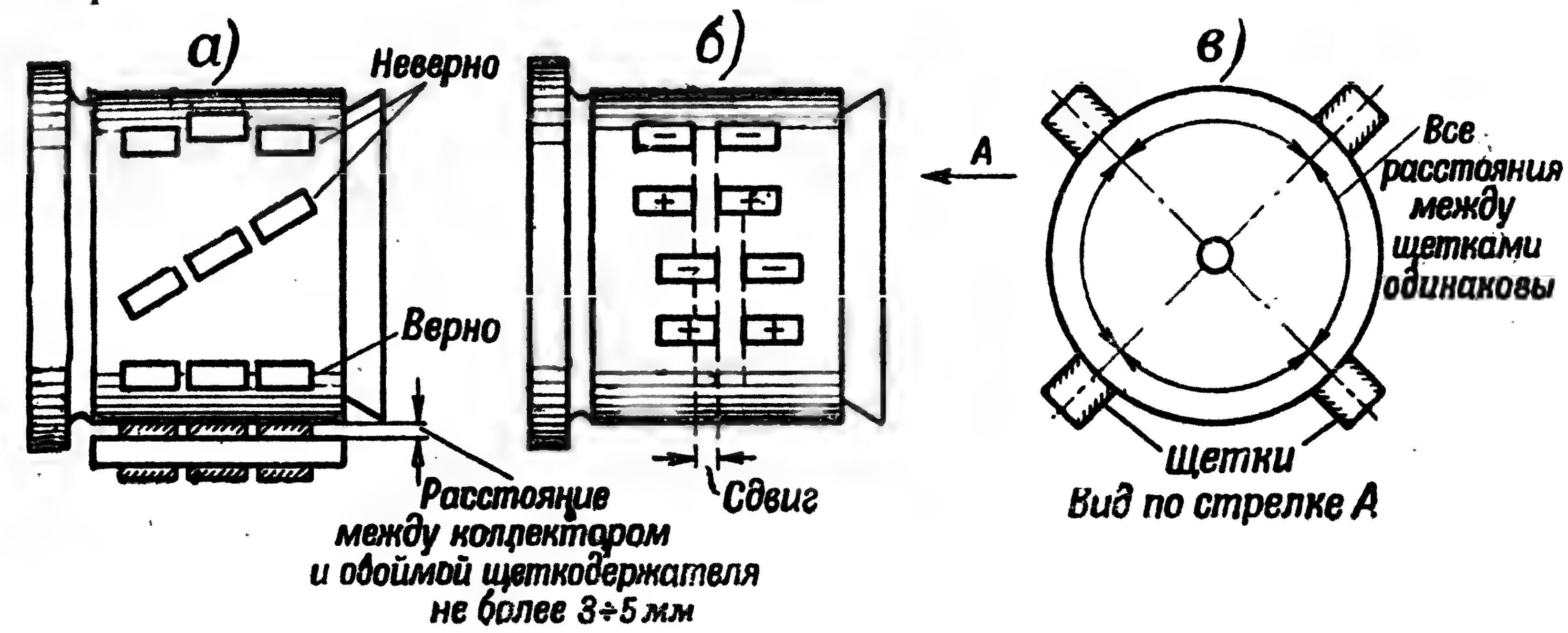


Рис. 6-1. Расстановка щеток на коллекторе.

(рис. 6-1,*б*). Расстояние между щеткодержателями должно быть строго одинаково (рис. 6-1,*в*). Все контакты в цепи тока, текущего в щетку, в особенности щеточная арматура (гибкий медный жгутик, связанный с головкой щетки), должны быть чисты, исправны и подтянуты. Нажим на все щетки должен быть одинаковым. Это обеспечивает равенство сопротивлений всех щеточных цепей. Все щетки должны быть одной марки.

Перечисленные условия являются обязательными, и настройка коммутации искрящей машины начинается с проверки выполнения этих условий.

Однако даже в том случае, когда все указанные выше условия выполнены, искрение все же может иметь место. Причиной его является э. д. с. самоиндукции секций, замыкаемых накоротко щеткой. Эта э. д. с. вызывает появление тока короткого замыкания секций, текущего поперек щетки, в отличие от рабочего тока, текущего вдоль щетки. Наложение тока короткого замыкания секции на рабочий ток приводит к разгрузке набегающего края щетки, перегрузке сбегающего и появлению искрения.

Чтобы уничтожить это искрение, следует уничтожить э. д. с. самоиндукции секций, что достигается при помощи добавочных полюсов.

Так как э. д. с. самоиндукции пропорциональна току якоря, то и возбуждение добавочных полюсов должно быть пропорционально току якоря. Поэтому обмотка добавочных полюсов включается в цепь якоря, и никакие переключения внутри этой цепи не должны иметь места.

Весьма важными являются полярность и величина потока добавочного полюса. При неправильной полярности (перевернутая полярность) добавочный полюс будет не уничтожать э. д. с. самоиндукции, а, наоборот, усиливать ее, что приведет к сильному искрению.

Полярность добавочных полюсов генератора должна быть такой же, как полярность следующих по вращению за ними главных полюсов. Полярность добавочных полюсов двигателя должна быть такой же, как полярность предыдущих по вращению главных.

Слишком малый или слишком большой поток добавочных полюсов точно так же вызывает искрение, причем в первом случае искрит сбегающий край щетки, во втором—набегающий.

Отрегулировать величину потока можно, изменив число витков катушки добавочного полюса или зазор между добавочным полюсом и якорем. Обычно применяется последний способ регулировки. Поэтому при ремонте не следует произвольно менять зазор между добавочным полюсом и якорем, выбрасывая или меняя прокладки между остовом и полюсом, поставленные туда ранее.

6-2. КОНСТРУКЦИЯ КОЛЛЕКТОРА

Конструкция коллектора, применяемая для большинства электрических машин, изображена на рис. 6-2. В этой конструкции затяжка осуществляется гайкой. Для больших коллекторов вместо гайки применяются стяжные болты, позволяющие сильно и равномерно подтягивать коллектор.

Для хорошей коммутации поверхность коллектора должна быть ровной, гладкой, строго цилиндрической формы, отдельные пластины и миканитовая изоляция не должны выступать. Все эти дефекты могут появиться под действием центробежной силы, стремящейся при вращении коллектора вырвать пластины и миканитовую изоляцию. Поэтому конструкция и изготовление кол-

лектора должны быть именно такими, чтобы воспрепятствовать центробежной силе деформировать коллектор.

Если подтягивать гайку, то втулка коллектора, с одной стороны, и нажимная шайба, с другой—через изоляционные конусы давят на ласточкин хвост пластины, осаживая ее к центру коллектора.

Поскольку пластина в поперечном сечении представляет собой клин, то при таком осаживании пластин они оказывают давление друг на друга, сжимая изоляцию между

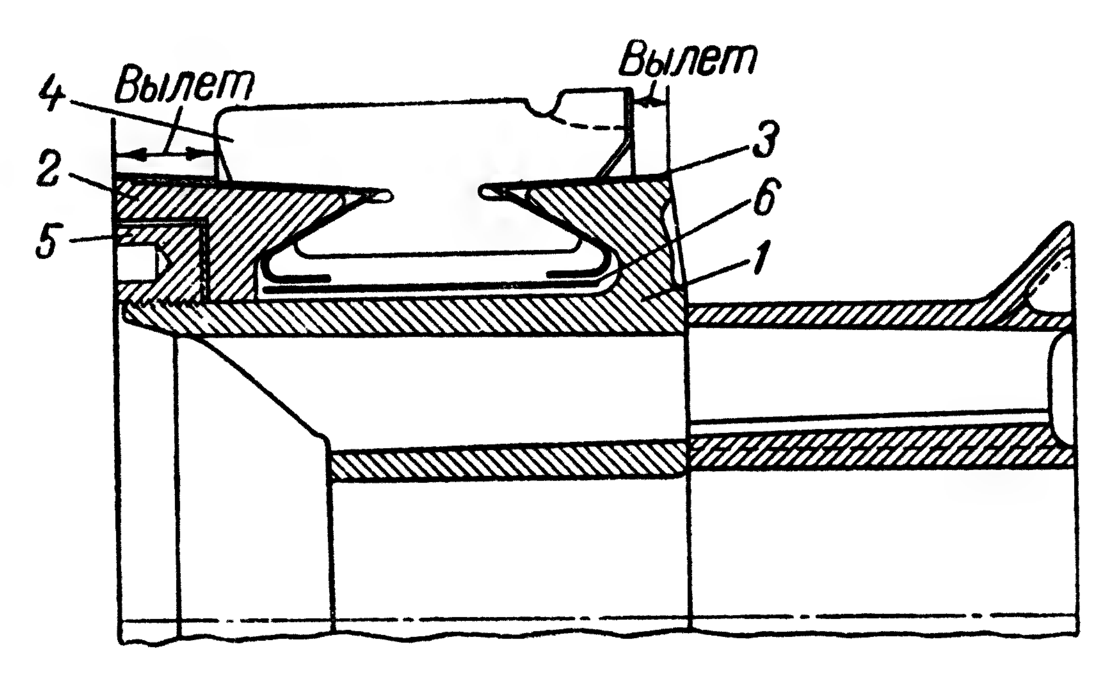


Рис. 6-2. Продольный разрез коллектора.

1 — коробка или втулка; *2* — нажимная шайба; *3* — изоляционный конус; *4* — пластина коллектора; *5* — гайка; *6* — изоляционный цилиндр.

пластинами. Это давление подобно распору между кирпичами в арке, отчего конструкция называется арочной. Оно придает коллектору монолитность и удерживает изоляционные прокладки от выступания под действием центробежной силы. Плотность коллектора, а следовательно, и качество коммутации сильно зависят от качества изоляции коллектора.

Если при изготовлении этой изоляции в ней останется клеящий лак, то при работе коллектора этот лак будет постепенно выдавливаться. Стремление центробежной силы вырвать коллекторные пластины вызывает давление ласточкина хвоста на изоляционный конус. Если этот конус из-за постепенного выдавливания лака будет становиться тоньше, то пластины начнут выступать, нарушив гладкость рабочей поверхности коллектора. Выдавливание лака из прокладок между пластинами приводит к уменьшению их толщины. Давление пластин на изоляцию уменьшается, что приводит к постепенному выползанию изоляции под дей-

ствием центробежной силы на поверхность коллектора и ослаблению всего коллектора.

Поэтому изготовление изоляции между пластинами, изоляционных конусов и сборка колектора производятся так, чтобы по возможности выдавить из миканита клеящие лаки и получить возможно более плотный коллектор. Так как клеящие лаки при нагреве размягчаются, что облегчает выдавливание их, то при изготовлении коллекторной изоляции и сборке коллектора предусматриваются многократные нагревы и прессовки, имеющие целью придать коллектору плотность и монолитность.

Плотность коллектора можно определить по звуку, постукивая по нему небольшим стальным молоточком. Плотный коллектор дает звонкий звук, слабый коллектор — глухой.

6-3. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ПЛАСТИН

Материалом для пластин служит твердотянутая медь, которая дает твердую поверхность, меньше истираемую щеткой. Пластину выбирают необходимого профиля с углом клина 360°/*K*, где *K* — число коллекторных пластин. Нижние грани округляются, что предохраняет от замыкания между пластинами при сборке коллектора.

Если нет коллекторной меди с требуемым углом клина, его можно фрезеровать. Нужно только, чтобы пластина имела достаточную высоту и ширину. Коллекторная медь нарезается на заготовки по контуру пластин с припуском на обработку.

На рис. 6-3 показаны случаи неправильного изготовления пластин, часть профилей может быть исправлена фрезеровкой. Влияние неправильной толщины пластин видно на рис. 6-4.

После нарезки пластин их правят на чугунной строганой плите ударами медного молотка до полного прилегания поверхности к плите. Затем пластины очищают от заусенцев и протирают тряпкой, смоченной в бензине.

После правки производят фрезеровку прорезей для впайки проводов обмотки или петушков. Пластина зажимается в специальные тиски. Фрезеровка производится дисковой фрезой с крупным зубом при 300—400 *об/мин* с охлаждением фрезы эмульсией. Для обычных коллекторов с неглубокой прорезью фрезеровка его может производиться после сборки коллектора. Для ответственных коллекторов с глубокой прорезью лучше фрезеровать пласти-

ны отдельно, так как повреждение коллекторной пластины фрезой на собранном коллекторе потребует полной его переборки для замены пластины.

После фрезеровки производится полуда прорезей. Стенки прорези промазывают раствором канифоли в спирте,

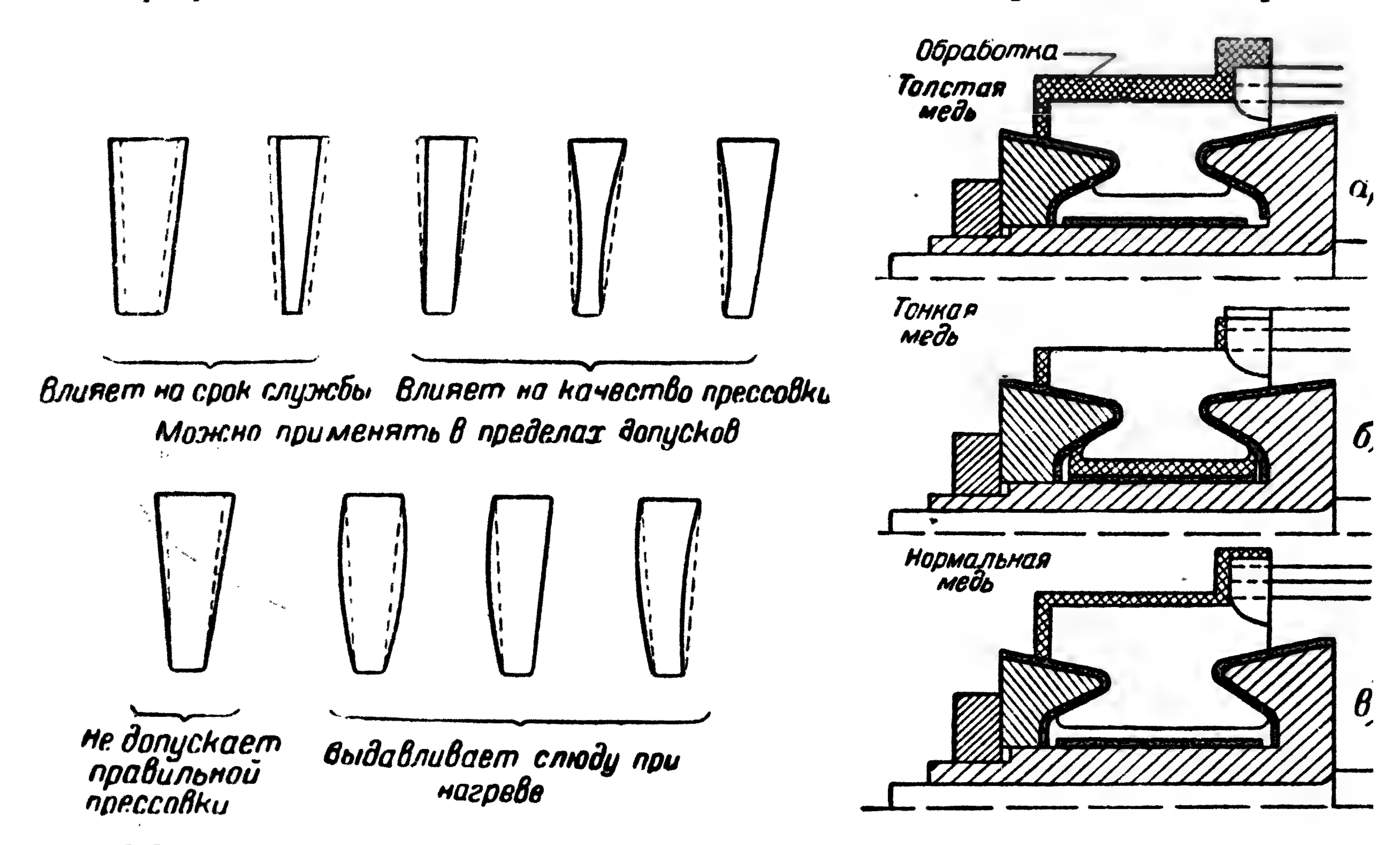


Рис. 6-3. Искажение профиля коллекторной меди.

Рис. 6-4. Влияние неровностей толщины пластин на сборку коллектора.

всю остальную пластину обмазывают известью и погружают в ванну с расплавленным припоем (берется тот же припой, что и для пайки обмотки с коллектором). После полуды пластину очищают от извести и случайных пятен олова (в особенности на петушках).

6-4. СБОРКА ПЛАСТИН

Комплект пластин собирают на гладкой плите. Пластины ставят вертикально. Между ними располагают изоляционные прокладки, нарезанные по размеру пластин. Если изоляция должна выступать за петушок, то при заготовке миканита дают соответствующий припуск и сборку ведут на плите со специальными прорезами по числу пластин (рис. 6-5). При сборке вертикальность пластин проверяют по угольнику, чтобы в коллекторе не получилось перекоса их.

Собранный комплект пластин обвязывают проволокой и на него надевают прессовочное кольцо.

Существует несколько типов прессовочных колец (рис. 6-6). Для ремонтных цехов удобнее применять кольца по рис. 6-6,*в* и *г*, в которых прессуют комплект пластин

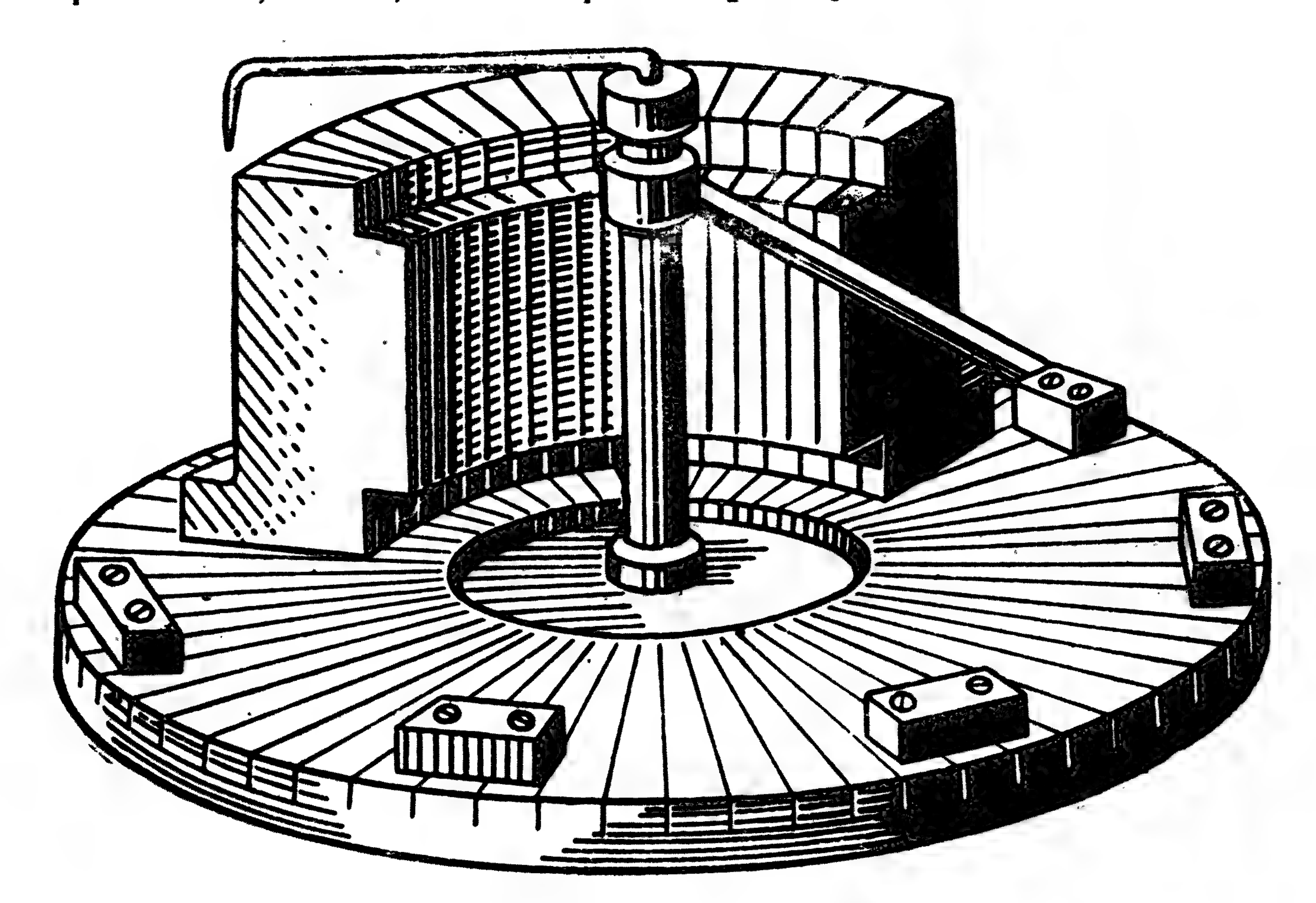


Рис. 6-5. Сборка пластин коллектора на диске

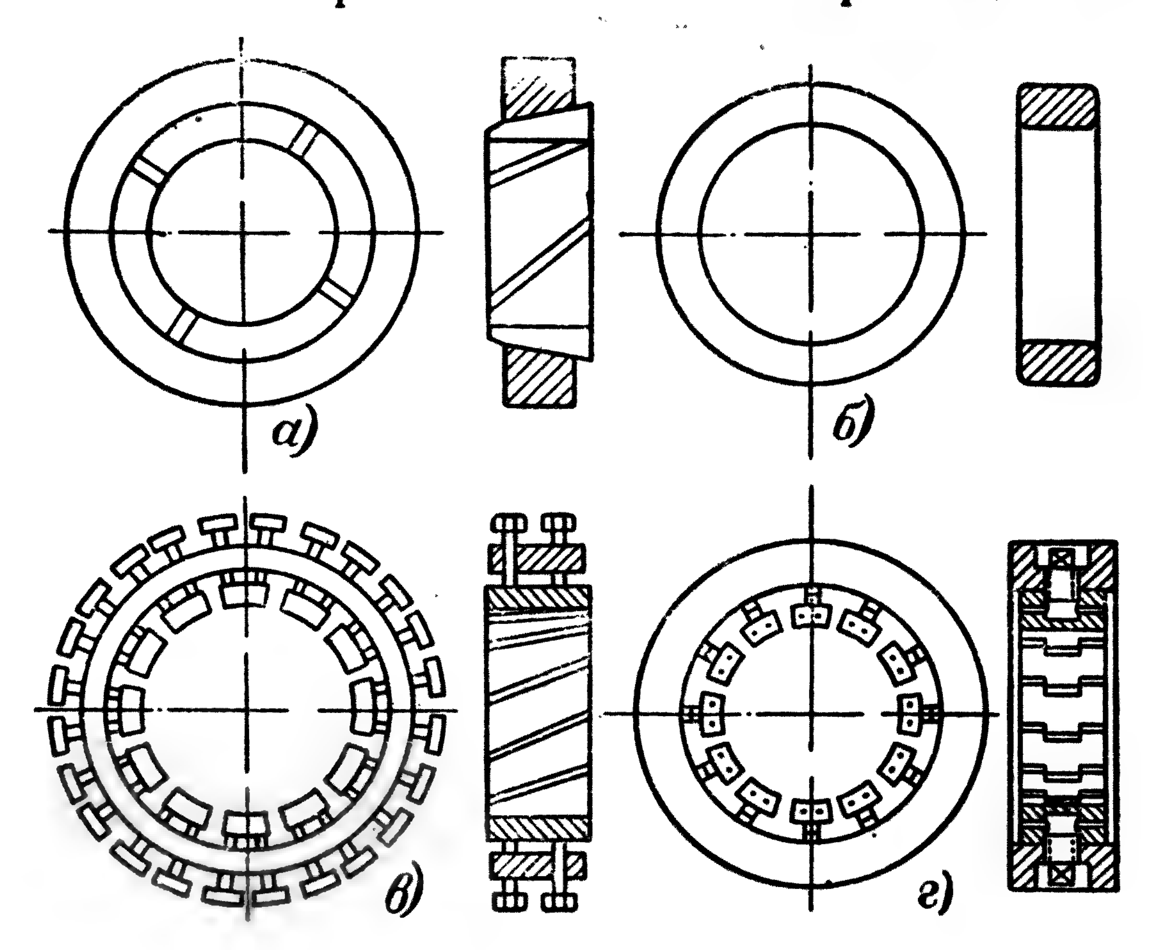


Рис. 6-6. Кольца для прессовки комплекта пластин коллектора.

равномерным подтягиванием расположенных по окружности кольца болтов. Плашки при этом нажимают на среднюю часть пластины. Прессовка производится так, чтобы комплект принял форму правильного цилиндра. После за-

прессовки комплекта в кольцо он нагревается до 180—200° С и производится повторная равномерная подтяжка болтов.

Запрессованный комплект ставится на токарный или карусельный станок (в зависимости от размеров) и производится обработка поверхностей ласточкиных хвостов.

Последовательность обработки (рис. 6-7) следующая:

Операция *I*—обработка комплекта со стороны петушков. Если коллектор имеет выступающую изоляцию, то задний торец петушка не обрабатывается и лишь возможно точно выверяется при установке; операция *II*—за-

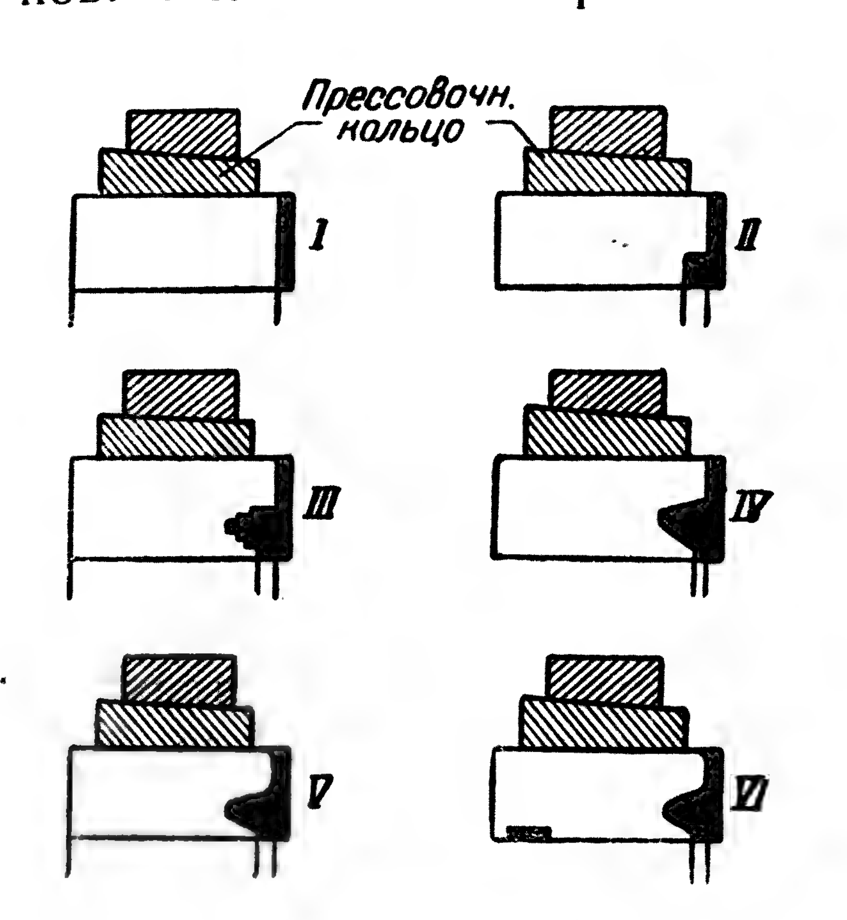


Рис. 6-7. Последовательность обработки пластин коллектора.

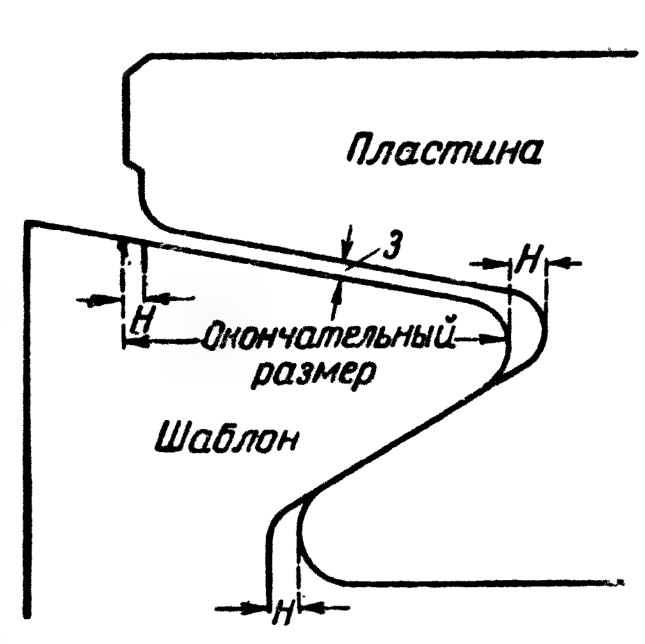


Рис. 6-8. Шаблон для измерения выточки в пластинах.

точка до начала ласточкина хвоста; операция *III*—грубая проточка ласточкина хвоста; операция *IV* — чистовая обточка конусных поверхностей 30 и 3°. Эта операция производится резцом с напайкой твердого сплава на большой скорости $\geqslant$ 200 *м/мин* и самой малой подаче с тем, чтобы получить совершенно гладкую и чистую поверхность без заволочек и заусенцев, замыкающих между собой пластины. Операция *V* — обработка углубления ласточкина хвоста, операция *VI* — проход контрольной заточки для центровки коллектора после перевертывания. Затем коллектор перевертывается, центрируется и производится предварительная обработка торца. Оставляется припуск для окончательной обработки торца после посадки коллектора на якорь и присоединения обмотки. Окончательной обработке подвергают лишь часть торца, чтобы потом не подрезать изоляционный конус.

Аналогично ведут обработку второго ласточкина хвоста. Грубая обработка наружной поверхности коллектора производится после сборки коллектора, чистая — после пайки обмотки на якоре. Расточка ласточкина хвоста ведется по шаблону (рис. 6-8).

При ремонте установка шаблона делается по старой выточке, и при обработке ласточкина хвоста на новом коллекторе шаблон должен несколько не доходить (рис. 6-8), так как при последующих прессовках диаметр комплекта уменьшится.

6-5. СБОРКА КОЛЛЕКТОРА

После токарной обработки комплекта собирают коллекторы. Основное условие сборки — это чистота всех собираемых деталей, верстака, рук и спецодежды сборщика. Поэтому все меры должны быть приняты для предотвращения попадания в коллектор пыли, грязи, металлической стружки и т. д. Загрязнение внутренних полостей коллектора вызывает замыкание между пластинами, которое либо потребует переборки коллектора, либо обнаружится в эксплуатации, вызвав аварию машины. Втулка коллектора должна быть тщательно окрашена и внутри эмалью. Комплект пластин тщательно проверяется на отсутствие заусенцев, заволочек, случайно прилипшей стружки и т. д.

Сборка производится в следующей последовательности.

На втулку коллектора надевают изоляционный конус, затем кладут комплект пластин, вставляют изоляционный цилиндр, накладывают нажимную шайбу с надетым изоляционным конусом и завертывают гайку. Положение пластин по отношению к шпоночной канавке коробки в соответствии с разметкой якоря точно устанавливается при помощи приспособления. Щель между пластинами и изоляционным конусом закрывается временным веревочным бандажом для защиты от попадания грязи.

Собранный таким образом коллектор (с прессовочным кольцом) нагревают до 160° С и прессуют. Давление пресса прикладывается к коробке (втулке) коллектора и нажимной шайбе. Величина его зависит от размеров коллектора и ориентировочно указана в табл. 6-2.

Под прессом специальным ключом подтягивают гайки коллектора (рис. 6-9).

После этого коллектор освобождают от прессовочного кольца. Проверяют на лампочку замыкание между пластинами. Расчищают заволочки так, чтобы проверка на лам-

почку показывала отсутствие замыканий между пластинами. После этого производят вторичный нагрев до 160° С, прессовку и подтяжку гайки, а затем третий нагрев до 160° С и разгон горячего коллектора.

Таблица 6-2

Давление при прессовке коллектора

Диаметр коллектора, *мм*	Давление прессовки *т*
150	2—4
200	6—8
300	12—16
400	20—30
500	30—45

Операция разгона заключается во вращении коллектора при скорости в 2—2,5 раза больше номинальной в течение 15—30 *мин*, проводится она для уплотнения изоляционных конусов коллектора. Перед разгоном коллектор должен быть отбалансирован.

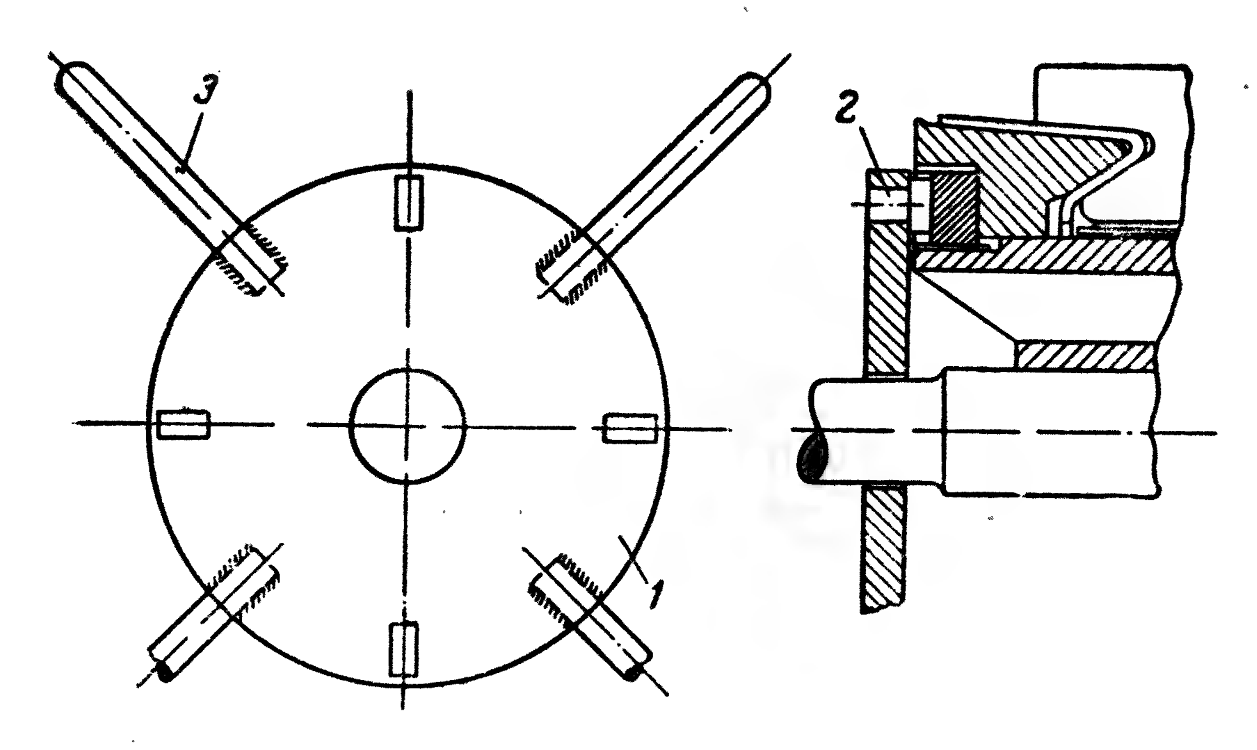


Рис. 6-9. Ключ для завертывания гайки коллектора.

Таблица 6-3

Испытательное напряжение для изоляции коллектора от корпуса

Рабочее напряжение, *в*	Испытательное напряжение в течение 1 *мин*, *в*	
	новый коллектор	бывший в эксплуатации
150	3 000	1 500
600	5 500	2 750
1 500	7 000	3 500
3 000	11 000	5 500

Таблица 6-4

Испытательное напряжение для изоляции между пластинами коллектора

Толщина изоляции между пластинами, *мм*	Испытательное напряжение, *в*
0,4	200
0,6	300
0,8	400
1	500

После разгона производят последнюю подтяжку гайки, затем грубую обработку наружной поверхности, проверку на отсутствие замыканий между пластинами, испытание изоляции на корпус и между пластинами (табл. 6-3 и 6-4).

6-6. ИЗОЛЯЦИОННЫЕ КОНУСЫ

Миканитовые изоляционные конусы коллектора изготовляются из формовочного миканита прессовкой в пресс-формах. Заготовка, укладываемая в пресс-форму, имеет вид, изображенный на рис. 6-10. Полная толщина конуса

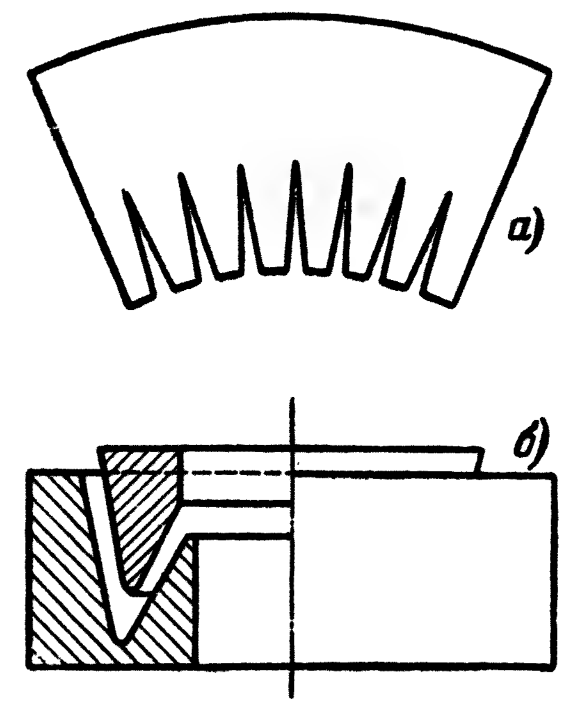


Рис. 6-10. Прессформа и заготовка для максимального конуса.

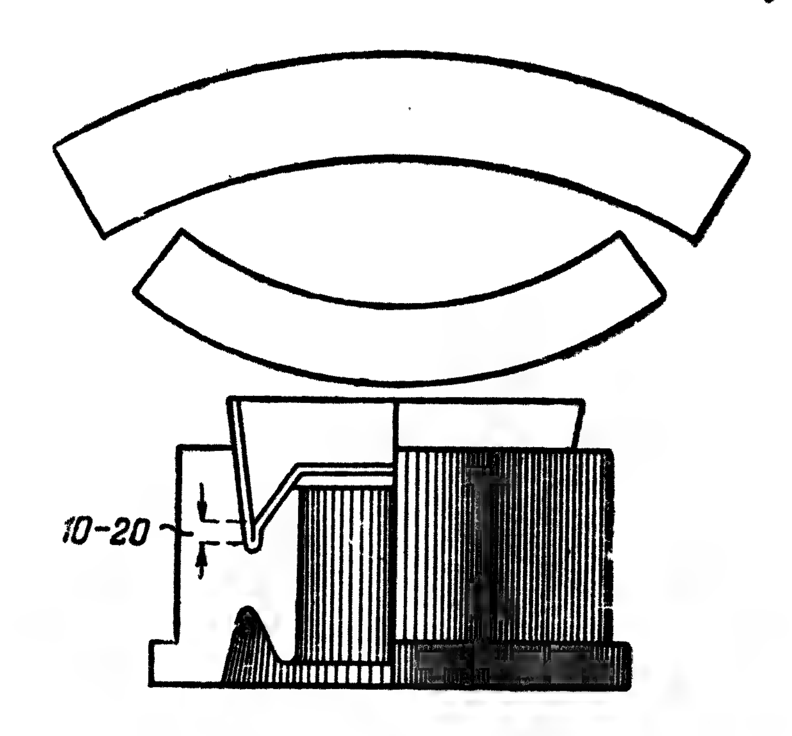


Рис. 6-11. Изоляционный конус из полос миканита.

набирается из нескольких заготовок, причем при укладке стыки обязательно сдвигаются.

Для того чтобы опрессованный конус не приклеивался к пресс-форме, ее смазывают парафином.

Прессовку производят на ручном винтовом прессе. Пресс-форму предварительно подогревают до 200° С, затем после укладки заготовок ставят под пресс до полного остывания.

Для мощных машин высокого напряжения прессуют отдельные сегменты конуса, укладываемые при сборке коллектора с перекрытием стыков сегментов в расточку ласточкина хвоста.

Для быстрого ремонта можно применять конус, склеенный шеллаком из полос гибкого миканита (без прессовки, рис. 6-11). Для размещения места склейки в коллекторных пластинах нужно сделать специальную выточку. Для напряжений до 500 *в* длина склейки должна быть порядка 10—15 *мм*.

6-7. НЕИСПРАВНОСТИ КОЛЛЕКТОРОВ И ВИДЫ РЕМОНТА

В практике имеют место неисправности коллекторов, указанные в табл. 6-5.

Таблица 6-5

Неисправности коллекторов

Неисправность	Причины	Ремонт
1. Обгар поверхности	Искрение. Круговой огонь	Обточка, шлифовка
2. Биение. Выступание пластин	Плохая сборка. Некачественный миканит	Нагрев. Подтягивание. Обточка
3. Выступание изоляции между пластинами	Износ пластин. Ослаб коллектор	Продороживание. Подтягивание. Обточка
4. Выступание пластин на краю коллектора	Предельная обточка. Слишком тонкие пластины	Замена комплекта пластин и межламельной изоляции
5. Отломана часть петушка (в шлице)	Неосторожная выбивка концов обмотки из шлица	Разборка. Ремонт или замена пластин
6. Замыкание между пластинами	Заусенцы на поверхности	Осмотр. Расчистка
	Прогар миканитовой изоляции из-за попадания масла и медно-угольной пыли	Глубокая прочистка между пластинами. Промывка спиртом. Замазка пастой
	Замыкание внутри коллектора	Разборка
7. Замыкание на корпус	Пробой, прогар изоляционных конусов	Разборка, ремонт или смена конусов

Ниже указываются методы производства некоторых видов работ при ремонте коллекторов.

1. Поверхность шлифуют стеклянной шкуркой. Шкурку лучше натягивать на специальный держатель. После кругового огня может потребоваться обточка коллектора. Обточка производится на скоростях не менее 200 *м/мин* резцом с напайкой твердого сплава с тем, чтобы коллектор не «затянуло» медью (заусенцы). При обточке якоря без разборки машины в собственных подшипниках следует обеспечить отсутствие дрожания резца и тщательное удаление медной стружки из машины.

2. Состояние поверхности коллектора проверяют индикатором (желательно с ценой деления 1—2 *мк*). Допустимым является эксцентрицитет порядка 0,03 *мм*. Совершенно недопустимым является выступание на поверхности кол-

лектора отдельных пластин (так называемая «ослабленность»). Для уменьшения биения следует подтянуть гайку или коллекторные болты, затем нагреть коллектор до 100—110° С, снова подтянуть и обточить. Нагрев может производиться в печи, паяльными лампами (равномерно) или током, пропускаемым через обмотку из фехраля, наложенную на обмотанный асбестом коллектор.

Небольшие коллекторы можно нагреть наложением на них деревянных колодок при вращении коллектора (установив, например, якорь на токарный станок).

Подтяжку коллектора следует производить чрезвычайно осторожно, равномерно затягивая болты, расположенные по диаметру.

Обычно у коротких коллекторов арочного типа должен быть зазор между конусами 3°. Если этот зазор после ряда подтяжек исчез, то подтягивать коллектор дальше не следует, можно только довернуть стяжные болты, если они поддаются без особого усилия. Слишком сильная прессовка и подтяжка коллектора могут повести к продавливанию конуса, отгибу ласточкиных хвостов и порче коллектора. Коллекторы с большой длиной пластины часто не имеют зазора между верхними конусами пластины и нажимной шайбы (балочный тип). Делается это с целью воспрепятствовать выгибу середины пластин от центробежной силы.

У таких коллекторов подтяжка болтов также должна производиться чрезвычайно осторожно, чтобы не отгибался ласточкин хвост.

При выступании ряда отдельных пластин производятся также нагрев, подтяжка и обточка, однако выступание единичной пластины часто является результатом местного дефекта изоляционного конуса и поэтому подтяжкой и обточкой не может быть исправлено. В этом случае нужно снять и осмотреть конусы и пластину.

3. Миканитовые прокладки между пластинами истираются щеткой в меньшей степени, чем коллекторные пластины, поэтому по мере износа пластин изоляция выступает на поверхность коллектора, мешая работе щеток. Для обеспечения гладкой поверхности коллектора производится продороживание его, т. е. фрезеровка миканитовой изоляции на глубину около 1 *мм* ниже поверхности пластин.

Эта фрезеровка может производиться или специальной дисковой фрезой во время нахождения якоря на бандажировочном станке или на специальном станке для продороживания.

Во время эксплуатации продороживание производится при помощи куска ножовочного полотна, обточенного на наждачном точиле до толщины, равной толщине миканитовой изоляции или на 0,1—0,2 *мм* толще, при этом обязательно следует вырезать весь миканит, как это показано на рис. 6-12.

После продороживания коллектор должен быть тщательно отшлифован и продут.

4. Поверхность коллектора вследствие истирания ее щеткой в эксплуатации становится неровной. Для выправления ее коллектор подвергается периодическим обточкам, уменьшающим его диаметр. При этом вылет пластин становится тоньше и при известной минимальной толщине отгибается центробежной силой наружу. Поэтому обточка коллектора должна производиться с минимальным съемом металла, необходимым для того, чтобы вывести биение поверхности.

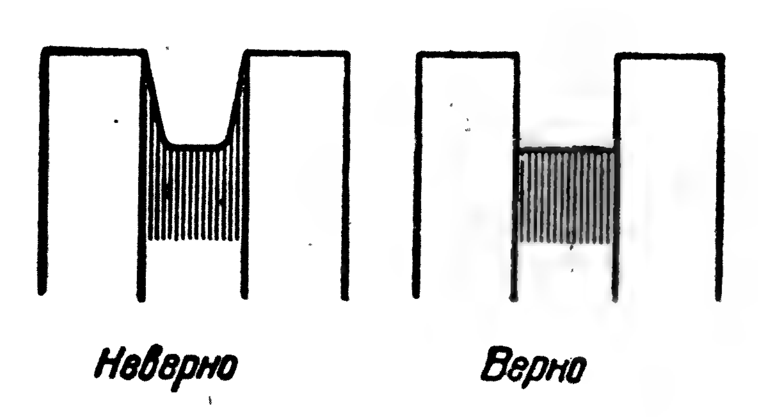


Рис. 6-12. Продороживание коллектора.

Чрезмерно обточенный коллектор требует капитального ремонта — замены комплекта пластин. Коллектор отпаивают от обмотки и снимают с якоря.

При разборке коллектора на него надевают прессовочное кольцо или накладывают временный бандаж из стальной бандажной проволоки. Под бандаж ставят полосу электрокартона. Затем вывертывают болты (гайки), снимают нажимную шайбу и конус. Изготовляют шаблон, по которому будет точиться ласточкин хвост в новом комплекте. На пластины должны быть составлены эскизы с размерами Нажимную шайбу снимают легкими ударами молотка по окружности. Может оказаться, что изоляционный конус приклеился к пластинам; для его удаления следует равномерно прогреть пластины.

Перед снятием комплекта пластин и нажимной шайбы нужно отметить их взаимное положение и положение шайбы и коробки.

5. Повреждение петушка довольно часто имеет место при повторных перемотках якорей.

Если такому повреждению — отлому щечек — подверглись две соседние пластины или если необходимо сменить изоляцию между пластинами, то коллектор приходит-

ся разбирать для ремонта или замены пластин и изоляции между ними.

Для того чтобы вынуть поврежденные пластины без разъема всех пластин, применяются стяжные диски (рис. 6-13), накладываемые на петушки. В диске делается вырез по размеру двух или более пластин, подлежащих замене, что позволяет вынуть неисправные пластины и заменить их новыми, заранее спрессованными с промежуточной изоляцией и между собой.

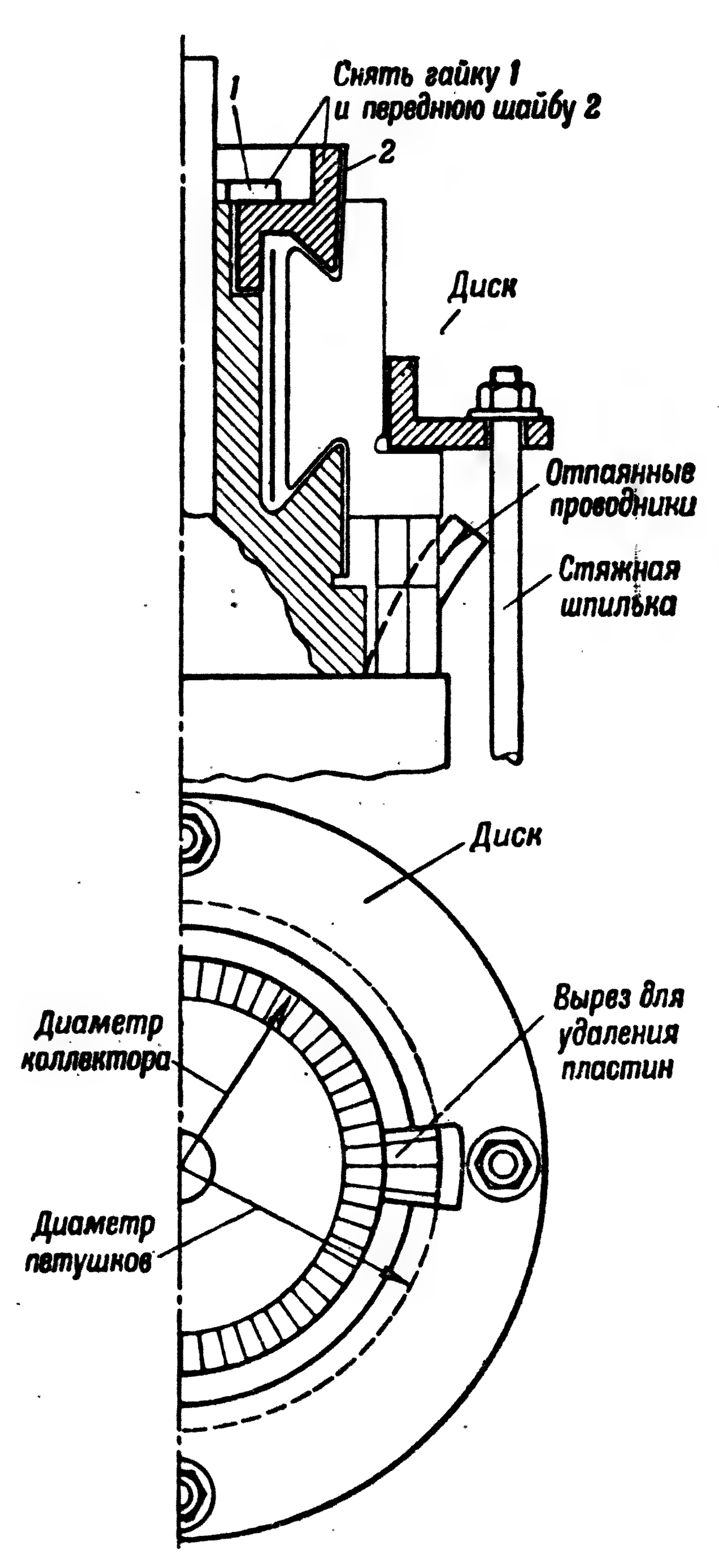


Рис. 6-13. Приспособление для замены неисправных пластин коллектора.

Ремонт пластин производится напайкой недостающих частей твердым припоем.

6. Замыкание между пластинами обычно обнаруживается при проверке дефектного якоря методом милливольтметра. Для того чтобы определить, имеет ли место замыкание в обмотке или между пластинами, отпаивают концы секций, подходящие к этим пластинам, и проверяют на лампочку. Если замыкание между пластинами является результатом каких-либо металлических мостиков на наружных поверхностях коллектора, то после тщательного осмотра и расчистки замыкание устраняется. Замыкание может явиться следствием прогаров и загрязнения изоляции между пластинами. В этом случае особенно опасным является попадание на коллектор масла, которое впитывается в миканит, образуя с медной пылью, всегда имеющейся на коллекторе, проводящие мостики. Мостики выгорают, разрушая миканитовую изоляцию. Такие прокладки

должны быть на большую глубину выскоблены. Щель между пластинами должна быть промыта спиртом и после этого замазана изоляционной мастикой (глифталевый лак с цементом). Весь загрязненный маслом коллектор промывают спиртом.

Если замыкание между пластинами всеми описанными мероприятиями устранить нельзя, то коллектор надо разобрать и осмотреть внутренние поверхности пластин.

7. Замыкание якоря на корпус обнаруживают лампочкой или мегомметром. Однако при этом неясно, имеет ли место замыкание на корпус в обмотке или в коллекторе.

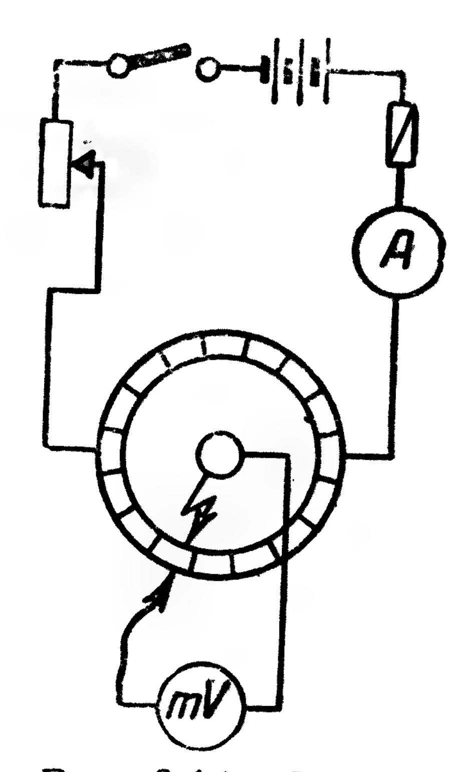


Рис. 6-14. Определение места замыкания на землю при помощи вольтметра.

Для того чтобы уточнить место замыкания, можно в соответствии с рис. 6-14 при помощи милливольтметра найти пластину коллектора, имеющую наименьшее напряжение по отношению к корпусу, и, далее, отняв концы обмотки от этой пластины и измерив ее изоляцию относительно корпуса, установить место замыкания. Однако этот способ не дает точных результатов, если место замыкания на землю имеет высокое переходное сопротивление.

Хороший способ обнаружения повреждений обмоток электромашин постоянного тока мощностью до 500 *квт* и напряжением 500 *в* и выше предложен К. А. Богдановым.[1]

При помощи обычного телефонного наушника и аккумулятора на 6 *в*, соединенного с прерывателем (зуммер), быстро и точно определяются место и характер повреждения. Здесь ток, идущий от источника тока и прерываемый зуммером, создает определенный звук, который прослушивается телефоном. Способ обнаружения места замыкания на землю и между пластинами приведен на рис. 6-15.

Пластина, замкнутая на землю или на соседнюю пластину, обнаруживается по исчезновению звука в телефоне. Для уточнения места замыкания может быть применен также магнитный способ.

Если один конец источника постоянного тока присоединить к валу, а другим концом поочередно касаться коллекторных пластин, то ток будет проходить через обмотку

[1] «Промышленная энергетика», 1947, № 7.

к поврежденному месту до тех пор, пока второй конец источника тока не станет на поврежденные пластины.

Проводя стальным пером над пазами обмотки, можно наблюдать постепенное уменьшение числа пазов, притягивающих стальное перо. Если замыкание произошло в коллекторе, то при подаче тока в неисправные пластины притяжение прекратится.

Отпаяв обмотку от замеченных пластин, можно окончательно установить, находится ли повреждение в коллекторе или в обмотке. Если установлено, что замыкание на корпус имеет место в коллекторе, то комплект пластин бандажируют или ставят в прессовочное кольцо и снимают передний конус, для чего может потребоваться подогрев коллектора. Если при этом поврежденное место не обнаруживается, то коллектор отпаивают от обмотки, комплект пластин снимают и осматривают задний конус коллектора и внутренний диаметр комплекта пластин.

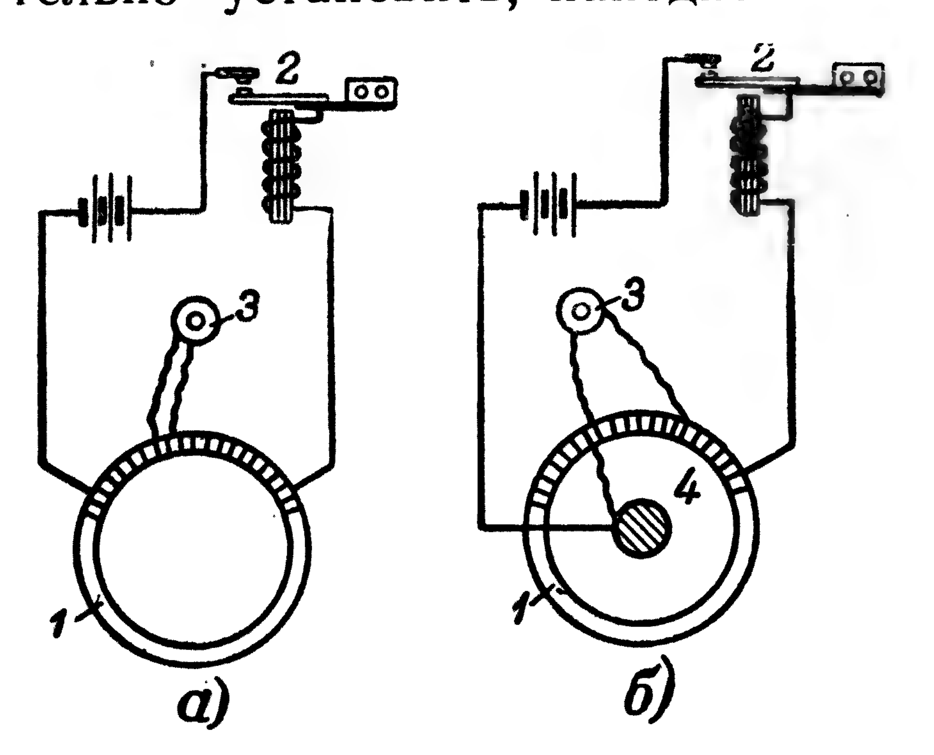


Рис. 6-15. Определение места замыкания между пластинами (*а*) и на землю (*б*).
1 — коллектор; *2* — прерыватель; *3* — телефон; *4* — вал.

Замыкание на корпус обыкновенно имеет место через поврежденный изоляционный конус и сопровождается обгаром ласточкиных хвостов и замыканием пластин.

Ремонт изоляционных конусов в зависимости от размеров повреждения может выполняться по-разному. Если прогоревшая площадь невелика (пятно), то ремонт заключается в расчистке поврежденного места, подрезке его краев на конус и последующей наклейке лаком листочков слюды.

После наклейки листочков место подклейки проглаживают горячим паяльником для удаления излишков лака.

Если повреждение значительно (конус полностью перерезан поперек на ширине нескольких пластин), то поврежденная часть конуса должна быть удалена. На ее место в выточку ласточкина хвоста укладывают сегменты, вырезанные из миканита (рис. 6-16) и отформованные в горячем

виде в самой выточке или на нажимной шайбе. Сегменты должны быть в 2 или более раз тоньше конуса с тем, чтобы они укладывались в два или более слоя. Стык одного слоя должен приходиться на середину сегмента другого слоя. Ширина сегмента и количество слоев можно легко определить по следующим соображениям: кратчайшая линия, проведенная от меди коллектора на нажимную шайбу через стыки и щели между слоями (перекрытие на корпус), должна быть не меньше вылета коллекторных конусов (рис. 6-2).

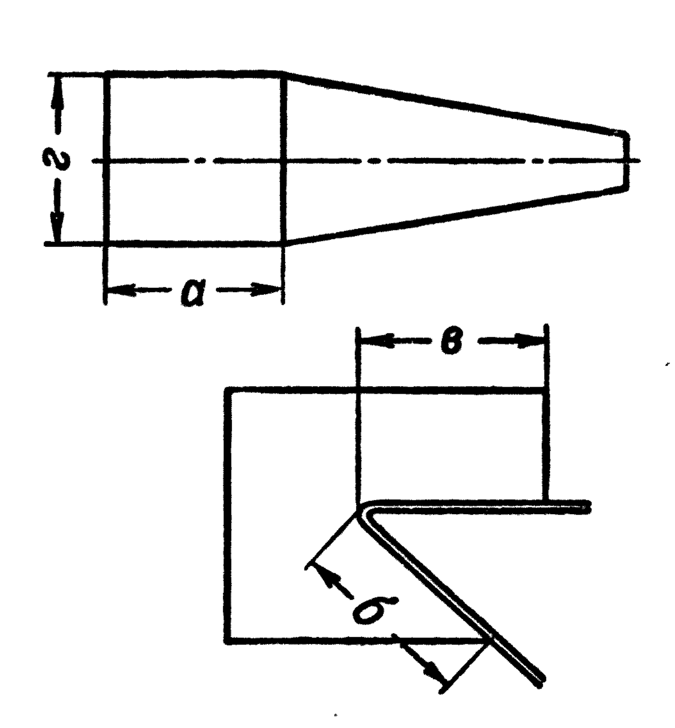


Рис. 6-16. Сегмент для ремонта миканитового корпуса.

Если размеры повреждения таковы, что необходима замена конуса, то может быть применен составной конус (по рис. 6-11), хотя качество такого конуса значительно ниже прессованного.

Если рабочие поверхности пластин с углом конуса 30° пострадали не сильно, то надо тщательно расчистить поврежденное место до исчезновения замыкания между пластинами. Если поверхности ласточкиных хвостов пластин сильно обгорели и повреждены, требуется замена пластин.

Иногда удается исправить коллектор путем переточки всего ласточкина хвоста одной стороны коллектора вглубь без замены пластин. Однако это мероприятие должно быть хорошо продумано с конструктивной точки зрения, так как: 1) вылет пластин увеличивается, что увеличивает возможность отгиба его центробежной силой; 2) вылет изоляционного конуса уменьшается; 3) приходится подрезать втулку коллектора. Поэтому может оказаться, что подобный выход из положения повлечет за собой уменьшение рабочей длины пластин и увеличение нагрузки на щетку.

6-8. РЕМОНТ КОЛЬЦЕВОГО КОЛЛЕКТОРА (КОНТАКТНЫХ КОЛЕЦ)

Повреждения поверхности колец — подгары, биение, неравномерная выработка — устраняют проточкой или, если повреждение незначительно, шлифовкой

при помощи стеклянной шкурки, укрепленной на деревянной колодке[1].

Нарушение контакта между кольцом и выводной шпилькой может иметь место при резьбовом соединении между ними.

В этом случае отверстие рассверливают (достаточно с края на конус) и сваривают шпильки с кольцом. В качестве временной меры до ремонта можно рекомендовать пропайку соединения оловом.

Вообще при ремонте контактных колец целесообразно переводить резьбовые соединения шпильки с кольцом на сварку.

Поверхностное нарушение изоляции между кольцами и между кольцом и корпусом (втулкой) устраняют зачисткой поврежденного места бензином, стеклянной шкуркой и последующей окраской поверхности изоляционной эмалью (СВД, КВД, СПД, КПД).

Причиной нарушения изоляции между кольцами может быть повреждение изоляции выводной шпильки одного из колец в том месте, где она проходит через другое кольцо.

Пробой изоляции колец на корпус, а также предельный износ после нескольких обтечек могут привести к необходимости переборки и замены колец.

Эти работы ведутся различно в зависимости от конструкции кольцевого коллектора.

Кольца большего диаметра обычно крепят на несущем кронштейне болтами, изолированными шайбами и втулкой. Разборка такого коллектора не представляет особых трудностей.

Наибольшее распространение получила конструкция, в которой кольца напрессовываются на втулку (рис. 6-17).

Как видно из рис. 6-17, кольца собирают на разрезную стальную втулку, изолированную пропитанным электрокартоном (суммарная толщина слоев примерно равна 0,5 *мм* для напряжения до 500 *в*) или миканитом, защищенным сверху слоем электрокартона, затем внутрь разрезной втулки при помощи упорного кольца, передающего основную часть давления на разрезную втулку, запрессовывают коробку (ступицу) коллектора.

Между контактными кольцами при прессовке ставят стальные дистанционные прокладки. Давление при прес-

---

[1] При шлифовке пемзой следует иметь в виду, что пемза дает проводящую пыль. После шлифовки кольца надо тщательно продуть.

совке для двигателей мощностью 3—100 *квт* выбирают в пределах 3—10 *т*.

Если коробка входит во втулку при слишком малом давлении, следует подложить под кольцо дополнительные прокладки из электрокартона.

После запрессовки коллектор сушится в печи при 115° С в течение 6—7 *ч* до тех пор, пока сопротивление изоляции его не будет выше 1 *Мом*.

Далее, следует пропитка (до прекращения выделения пузырей) в изоляционной эмали (СПД, КПД) и сушка

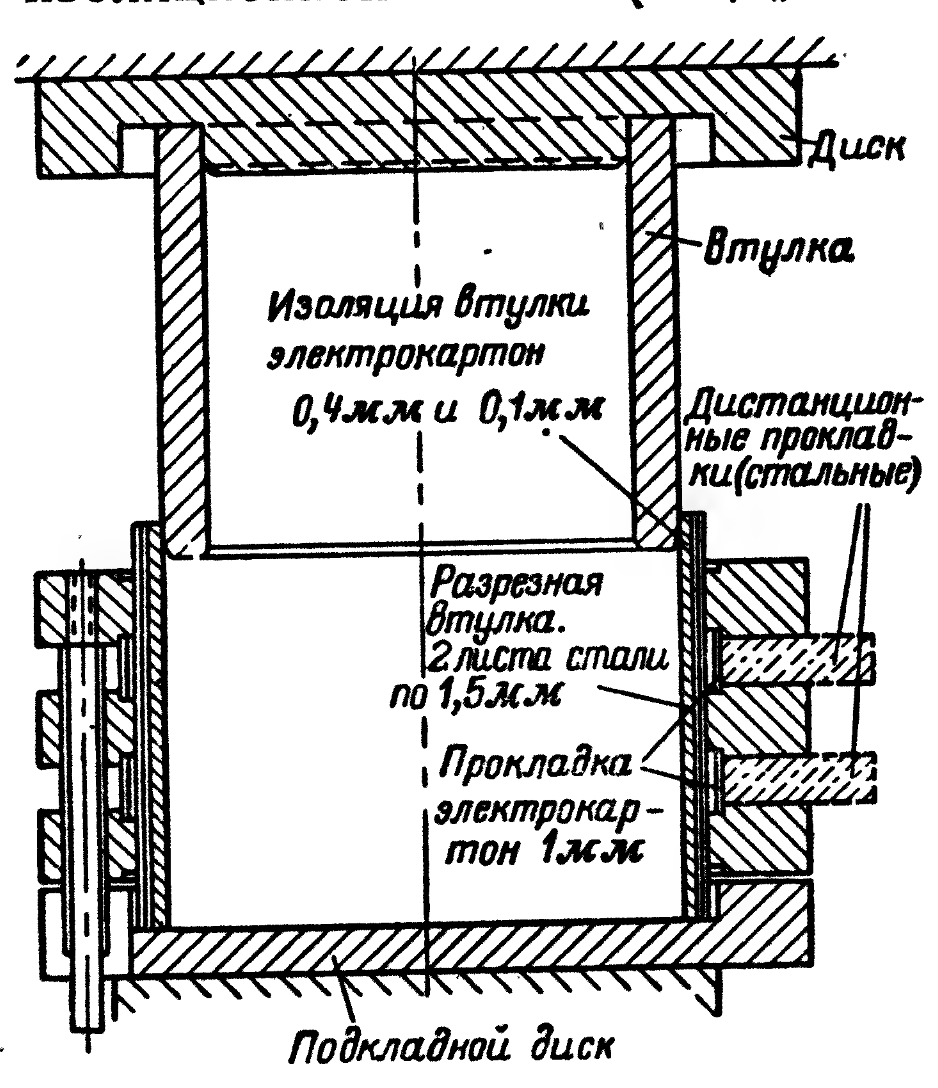


Рис. 6-17. Сборка контактных колец.

в печи в течение примерно 12 *ч*. Проточку колец производят после напрессовки коллектора на вал.

В качестве материала для колец можно использовать сталь, а для более нагруженных и ответственных коллекторов — бронзу или сплав БРАЖМЦ.

Не меньшее распространение получила конструкция, в которой кольца в горячем состоянии напрессовываются на омиканиченную стальную втулку. В этом случае при необходимости ремонта старые кольца на прессе снимают с втулки, старую изоляцию удаляют. Втулку очищают.

После этого на втулку туго накручивают требуемое число слоев формовочного миканита, промазанного клеящим лаком, нагревают втулку до 100° С, на миканит наде-

вают хомут из листовой стали. После нагрева втулки до 120—130° С хомут подтягивают, после чего выпекают (не менее 1 *ч* — 150° С для миканита на шеллаке, 180° С для миканита на глифтале).

После охлаждения втулки миканитовый слой (толщиной 2—3,5 *мм*) протачивают под посадку колец с учетом натяга [Л. 13]. Для колец с внутренним диаметром 200 *мм* натяг равен 0,5 *мм*, 600 *мм* — 1 *мм*. Нагрев колец при посадке 230° С (бронзовое или латунное кольцо) и 300° С (стальное кольцо).

Кольцевые коллекторы на пластмассе обычно не требуют ремонта. При повреждении или предельном износе они могут быть заменены коллектором по рис. 6-17.

6-9. РЕМОНТ ЩЕТКОДЕРЖАТЕЛЕЙ

Основные неисправности, имеющие место в щеткодержателях, указаны в табл. 6-6.

Таблица 6-6

Неисправности щеткодержателей

Неисправности	Причины	Ремонт
1. Быстрый износ внутренней поверхности обоймы и боковой поверхности щеток	Коллекторный бой, заусенцы в обоймах	Обточка коллектора, исправление обоймы
2. Разъедание внутренней поверхности обоймы	Неправильное прохождение тока с обоймы на щетку, неисправная арматура щетки	Замена шунтов. Подтяжка контактов в цепи тока. Замена щеток с неисправной арматурой
3. Оплавление щеткодержателя	Круговой огонь	Проверка
4. Ослабление пружины	Отжиг пружин из-за неправильного токопрохождения	Замена шунтов. Замена щеточной арматуры. Подтяжка контактов в цепи тока. Проверка изолирующей головки пружины
5. Зажим щетки в обойму	Механические повреждения обоймы.	Выправление
	Заусенцы от обработки или наплывы от кругового огня	Опиловка
	Выгиб обойм от нагрева током вследствие прохождения тока через обойму	Выправление. Обеспечить нормальное токопрохождение

К щеткодержателю предъявляются следующие требования:

1. Щетка должна легко скользить в обойме, однако без качки.

2. Щеткодержатель должен обеспечивать достаточно сильный нажим на щетку, по возможности постоянный, независимо от износа щетки.

Сила нажима пальца щеткодержателя на щетку зависит от характеристики пружины. Существуют конструкции

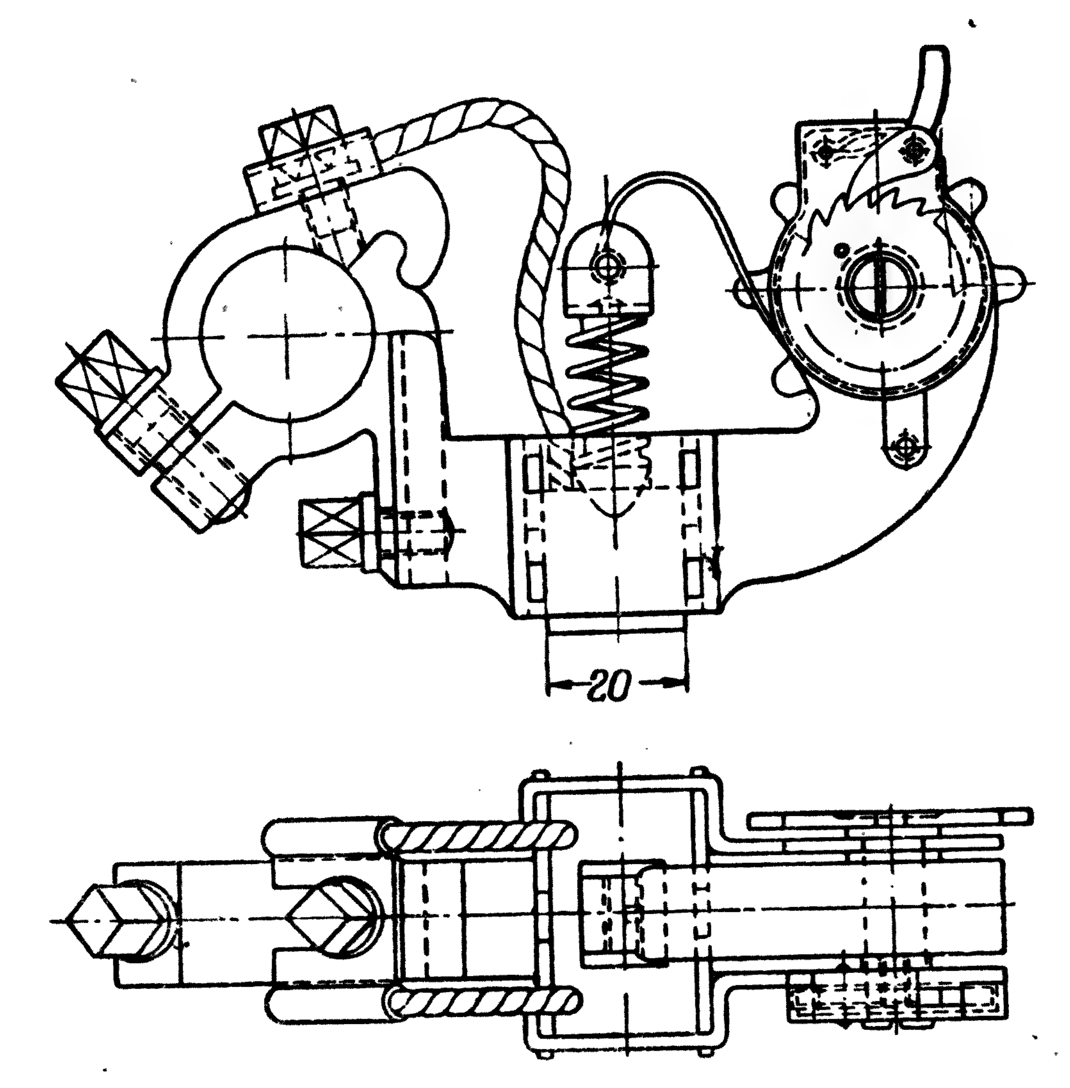


Рис. 6-18. Щеткодержатель машины постоянного тока.

щеткодержателей, у которых давление пружины регулируется. У них при ремонте подбор новой пружины значительно облегчается. Если же давление пружин не регулируется, то для замены их нужно подобрать новую пружину с той же характеристикой.

3. Рабочий ток должен попадать в щетку через специальные шунты, арматуру и т. д., минуя пружину, оси, обоймы и другие детали щеткодержателя.

4. Щеткодержатель должен быть достаточно прочен и надежно укреплен с тем, чтобы при работе машины не было дрожания щеткодержателя.

Типичные конструкции щеткодержателя приведены на рис. 6-18 и 6-19.

Правильное прохождение тока по щеткодержателю чрезвычайно важно. Попадание тока в пружины, оси, обоймы щеткодержателей неоднократно приводило к авариям. Получающийся при этом нагрев приводит к отпуску пружин, короблению обойм и разъеданию внутренней их поверхности. В зависимости от типа электрической машины применяются щетки с арматурой или без нее. При наличии щеточной арматуры ток должен непосредственно с болта (пальца), несущего щеткодержатель, попадать на медный

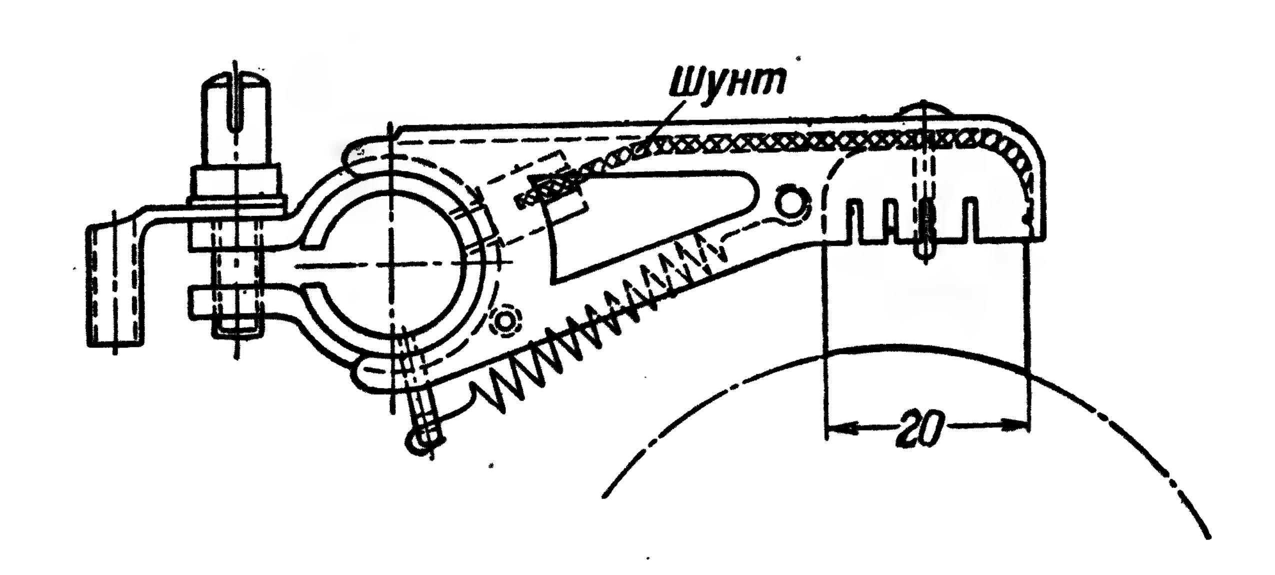


Рис. 6-19. Щеткодержатель асинхронного двигателя.

жгутик щетки. Поломка арматуры (обрыв жгутика) вызывает стремление тока проходить через обойму или через пружину на щетку. Поэтому в некоторых конструкциях пружина изолирована от щетки фарфоровой головкой или фибровым кулачком. Если щетка не имеет арматуры (например, трамвайные электродвигатели), то ток попадает на щетку через медную гибкую ленту (шунт) и медную накладку, через которую нажимной палец давит на щетку. Медная лента является шунтом, не дающим току идти через детали щеткодержателя.

Повреждение ленты или плохой контакт между лентой и корпусом может привести к прохождению тока через детали щеткодержателя.

Поэтому во всех случаях ремонта особое внимание следует обращать на токоведущие части щеткодержателя и состояние щеточной арматуры.

Изношенные литые обоймы навариваются бронзой или латунью.

ГЛАВА СЕДЬМАЯ

РЕМОНТ МЕХАНИЧЕСКИХ ЧАСТЕЙ

7-1. РЕМОНТ СЕРДЕЧНИКОВ СТАТОРА И РОТОРА

Неисправности сердечников приведены в табл. 7-1.

Таблица 7-1

Неисправности сердечников статора и ротора

Неисправности	Причины	Ремонт
1. Ослабление прессовки	Выпадение вентиляционных распорок	Ремонт распорок
	Ослабление стяжных болтов	Подтяжка
	Отлом и выпадение отдельных зубцов	Забить и укрепить клинья
2. Распушение зубцов	Слабые крайние листы или нажимные шайбы	Подпрессовка. Усиление крайних листов
3. Нагрев сердечников	Заусенцы	Расчистка
	Зашлифованные места	То же
	Механические повреждения поверхности сердечников	
	Порча изоляции стяжных болтов	Замена изоляции
4. Выгорание участков	Пробой изоляции обмотки на сталь	Расчистка. Перешихтовка
5. Деформация стали	Неправильная сборка или монтаж машины	Правка
	Механические повреждения	

Сердечники статоров и роторов удерживаются в спрессованном состоянии нажимными шайбами. Крепление нажимных шайб осуществляется поперечными шпонками или у машин, имеющих большой диаметр, стяжными шпильками.

Пакеты должны быть запрессованы так, чтобы между листами нельзя было воткнуть острие ножа. Ослабление прессовки проявляет себя при работе машины характерным гулом, иногда шуршанием или треском. На поверхности сердечника появляется красный порошок, напоминающий ржавчину. Если ослабление прессовки вызвано отламыванием и выскакиванием зубцов, то на их место ставится

фибровый клин, укрепленный, как показано на рис. 7-1. Перед установкой клина ржавчина должна быть удалена металлической щеткой, а сердечник тщательно пролакирован.

Если в конструкции машины не предусмотрена возможность подтяжки нажимных шайб, то подпрессовку можно осуществить заколачиванием между листами в зубцах тонких клиньев из фибры или гетинакса.

Клинья забиваются ниже поверхности стали, и близлежащий лист загибается на головку клина, чтобы он не выскочил.

Аналогичные меры принимаются, если выпучиваются листы стали в радиальные вентиляционные каналы между пакетами.

Причиной такого выпучивания может быть отгиб или выскакивание вентиляционных распорок. Отогнутые распорки правят плоскогубцами. На место выскочивших распорок может быть забит клин или П-образная скоба, укрепленная против выскакивания, как указано выше.

Рис. 7-1. Замена обломившегося зубца фибровым клином.

Если нажимные шайбы и крайние листы сердечника не образуют достаточной жесткой конструкции, то на краях зубцов листы расходятся, образуя веер. Такое «распушение» опасно, так как в местах выхода секции из пазов может быть повреждена изоляция. Для усиления нажимных шайб и крайних листов требуется разборка сердечника.

У небольших машин для устранения распушения можно прибегнуть к сварке крайних листов. Для этой цели на краях зубцов посредине зубца делают наклонный пропил небольшой глубины и в образовавшуюся канавку накладывают тонкий сварочный шов, который затем опиливают заподлицо с сердечником.

Нагрев сердечников обусловливается образованием замкнутых контуров, в которых появляются вихревые токи, производящие местный нагрев. Причинами этого являются различного рода заусенцы, вмятины и т. д., приводящие к металлическому соединению между отдельными листами. Замкнутый контур для вихревых токов образуется и в том

случае, если изоляция стяжных болтов от корпуса повреждена заусенцами на поверхности сердечника (рис. 7-2).

Повреждения изоляции часто бывают в изоляционной шайбе под головкой болта или под гайкой. Следует тщательно проверить изоляцию стяжных болтов от корпуса мегомметром и испытать на пробой напряжением 1 000 *в*.

При необходимости болт должен быть переизолирован накаткой на него микафолия и защитного слоя бумаги (или электрокартона для небольших машин) с промазкой клея-



Рис. 7-2. Образование замкнутого контура через стяжной болт и заусенцы.

щим лаком и запеканием аналогично изготовлению пазовых гильз (гл. 3, «Обмотка протяжная»).

Если в результате аварии обмотки выгорели отдельные участки стали, то поверхностная расчистка может оказаться недостаточной. В этих случаях поврежденный участок должен быть вырублен зубилом и зачищен пилой или абразивным кругом. После зачистки и тщательной продувки поврежденное место окрашивают покровным лаком или эмалью.

Если вырубленный участок приходится на поверхность паза, то во избежание образования пустот вырубленный участок должен быть заполнен протезом из твердого изоляционного материала либо при помощи теплопроводной замазки из клеящего лака с асбестовым наполнителем или цементом.

При деформации стали ее правят при помощи различных нажимных устройств, например домкратов. При этом существенным является выбор опорных точек, к которым прикладывается усилие.

Для предупреждения сдвига листов при правке в пазы следует закладывать стальные шлифованные линейки, изготовленные по размерам паза.

Для машин с открытыми пазами давление прикладывается поочередно к линейкам, заложенным в пазы на дефектном участке. Нагрев сердечника можно обнаружить по появлению побежалых цветов в отдельных местах. Высокая температура сердечника обычно приводит к аварии обмотки. В таких местах поверхность сердечника должна быть тщательно очищена от заусенцев острой мелкой пилой.

Перед укладкой новой обмотки статор, имевший повреждение листов, нужно испытать, чтобы иметь уверен-

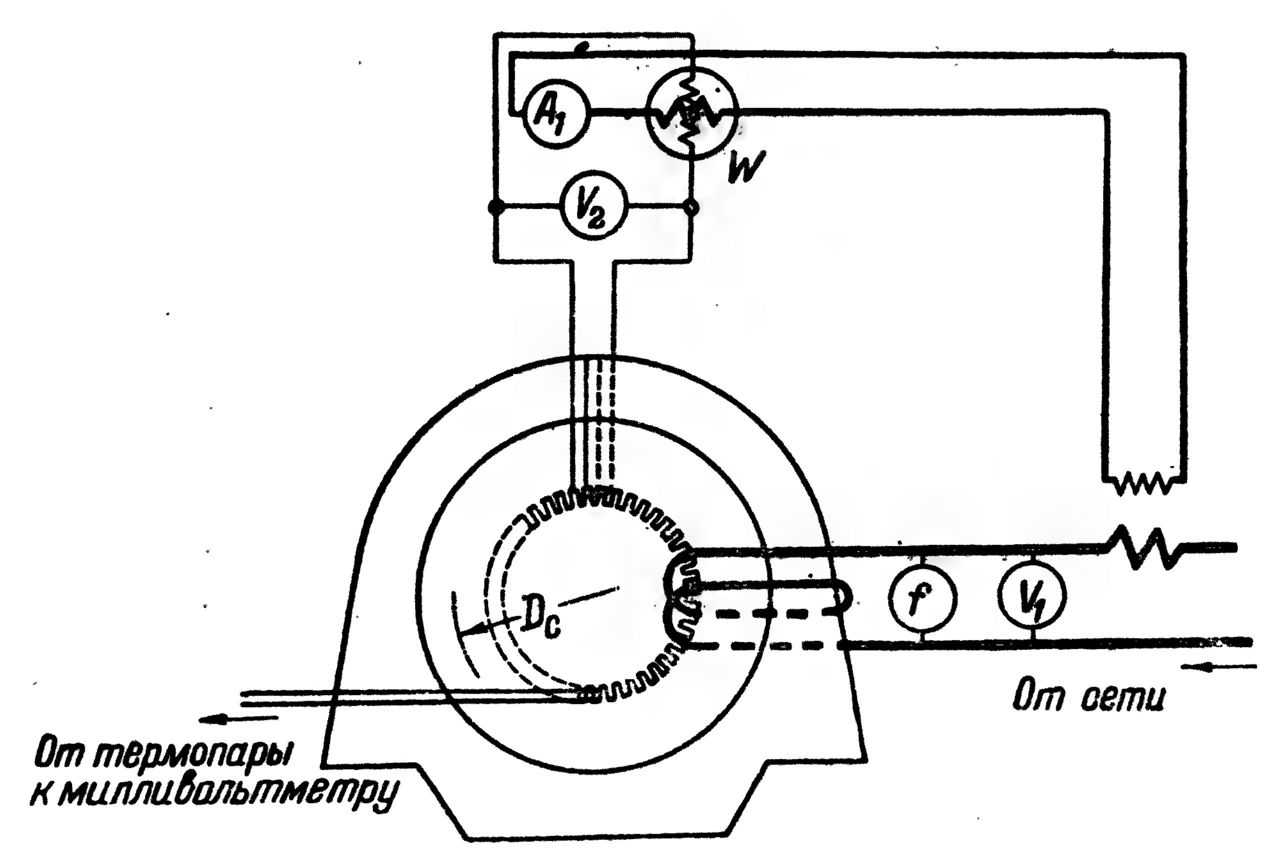


Рис. 7-3. Испытание сердечника статора.

ность в его исправности. Для испытания на статор наматывают несколько витков гибкого провода (рис. 7-3), питаемого переменным током.

Необходимое число витков определяют по формуле

$$w = (45 \div 50)\frac{U}{Q},$$

где U — напряжение сети, *в*:

Q — сечение стали спинки статора, *см*².

Сечение Q определяется как произведение суммарной длины пакетов стали на высоту спинки (расстояние между дном паза и наружной поверхностью стали статора). В статоре при этом создается необходимый магнитный поток. Испытание позволяет определить температуру сердечника и потери в нем. Если перегрев над температурой окружающего воздуха через 90 *мин* после начала опыта превышает

45° С или разница между температурой отдельных зубцов превышает 30° С, то сердечник должен быть полностью разобран и переизолирован.

Если листы изолированы путем лакировки, то поверхность листов промывают кистью, смоченной в керосине или уайт-спирите. После просушки кистью наносят тонкий слой изоляционного лака (Эмаль 202 треста «Лакокраска», разбавитель керосин или уайт-спирит, удельный вес 0,87—0,91, температура сушки 200—210° С).

Прессовка сердечника может быть выполнена при помощи дисков, стягиваемых шпильками. Шпильки должны быть рассчитаны на возможность создания давления 20 *кГ* на каждый квадратный сантиметр поверхности листа.

7-2. РЕМОНТ ВАЛА

Ремонт изношенных (или поврежденных) шеек и концов вала производится путем нанесения слоя металла и последующей обработки поверхности.

Нанесение слоя металла может производиться [Л. 12] наваркой, металлизацией, гальваническим процессом (осталиванием, хромированием).

Накернивание изношенных шеек не должно допускаться. В отдельных случаях исправление изношенных шеек может быть произведено путем насадки на шейку вала после обточки и шлифовки кольца, нагретого до 90—100° С.

После насадки кольцо обрабатывают до нужных размеров, однако толщина стенки его не должна быть при этом менее 1,5—2 *мм.*

Допустимая норма на обточку шеек составляет для нормальных машин ~ 5—6% от диаметра. Допустимая овальность шейки 0,002, конусность 0,003 от диаметра (по материалам Конференции по электроремонту).

При обработке, и в особенности при изготовлении нового вала, следует иметь в виду, что переходы между различными диаметрами должны производиться по возможности плавно, с закруглением возможно большего радиуса. Если подрезать вал уступом, то в этом месте получаются весьма большие местные напряжения в материале вала, приводящие к поломке вала по месту подреза. Конические концы вала можно исправить переточкой, если возможно сдвинуть шкив или шестерню ближе к щиту двигателя.

Трещины в материале вала можно заварить (с последующей обработкой поверхности), однако лишь в том слу-

чае, если они распространяются вглубь не более чем на 5—10% диаметра вала и занимают не более 10% длины окружности (для поперечных трещин) или не более 10—20% длины ступени вала, на которой они обнаружены (для продольных трещин).

При изломе вала взамен отломившейся изготавливают новую часть вала с припуском на обработку. Старая и новая части вала могут быть при этом либо обработаны на конус и сварены в стык, либо может быть предусмотрена выточка хвостовика и соответствующего отверстия в другой части. Соединение частей производится в этом случае посредством горячей посадки после разогрева части вала, имеющей отверстие, до 200—300° С. По месту стыка может быть наложен дополнительно сварочный шов. При сварке во избежание искривления вала должно быть обращено внимание на равномерный прогрев диаметрально расположенных частей вала.

Изгиб вала может быть обнаружен по биению расточки активной стали, поверхности коллектора или контактных колец по отношению к шейкам вала путем измерения индикатором при установке якоря (ротора) на токарный станок.

Незначительное биение может быть устранено шлифовкой указанных выше поверхностей или шеек вала.

Сильно изогнутый вал можно править на токарном станке рычагами, домкратами или при помощи винтового пресса.

Полная разборка якоря или ротора требуется весьма редко. Частичная разборка связана с заменой вала или демонтажом коллектора (рис. 7-4). Работа по выпрессовке вала зависит от конструкции якоря (ротора). Если якорь собран на втулке, то выпрессовка вала не требует специальной подготовки. Если якорь не имеет втулки, то при выпрессовке вала для скрепления деталей якоря должны быть продуманы специальные крепления. Обычно при изготовлении машины предусматривается возможность пропустить стяжные шпильки через вентиляционные каналы стали якоря в коробку коллектора, после чего вал может быть выпрессован. Если же такой возможности нет, то коллектор должен быть отпаян от обмотки и снят, после чего стяжными шпильками стягивается пакет якоря. Стянуть якорь с коллектором можно также при помощи двух дисков и шпилек, пропущенных снаружи якоря (рис. 7-5).

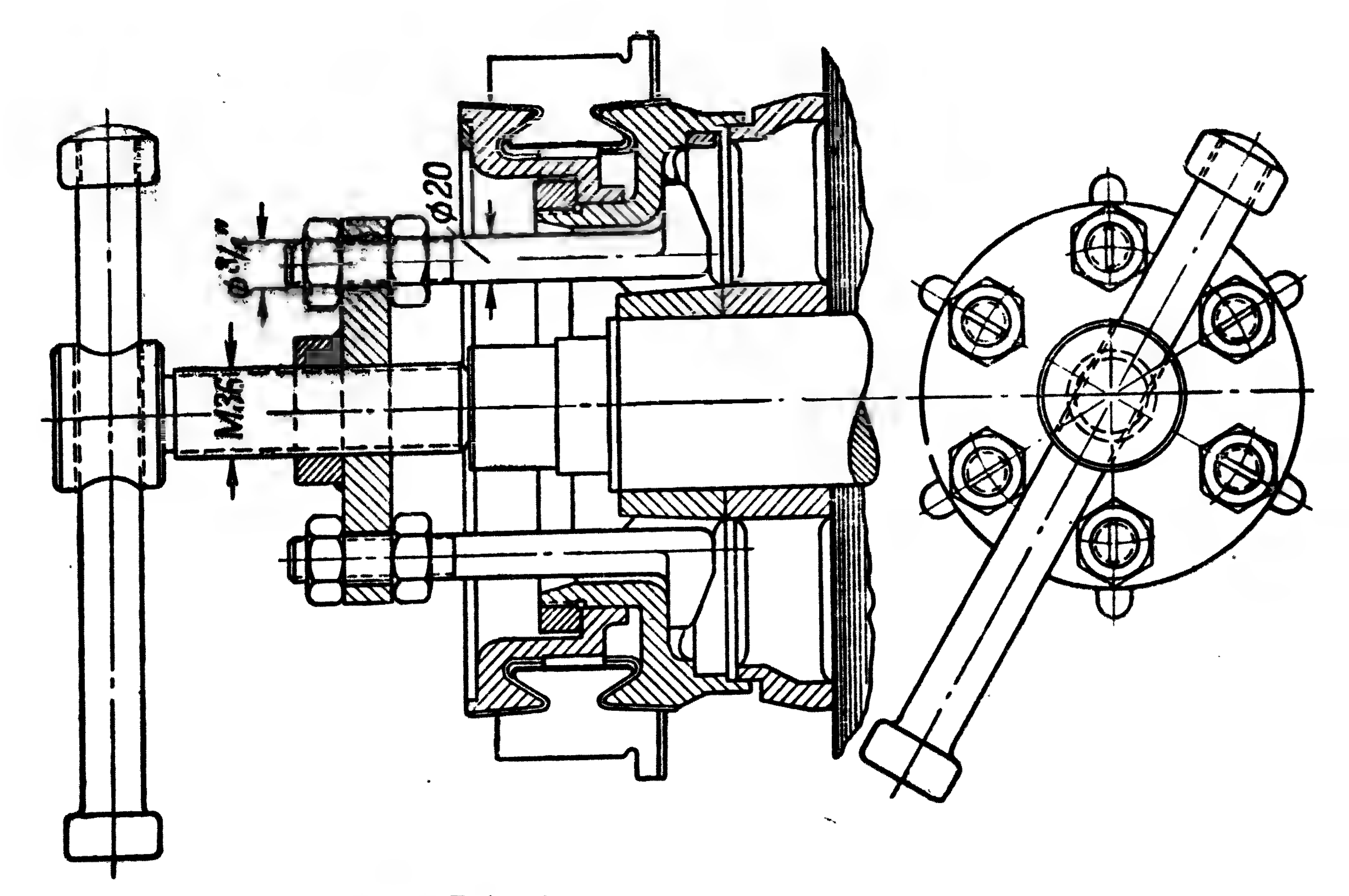


Рис. 7-4. Снятие коллектора с вала.

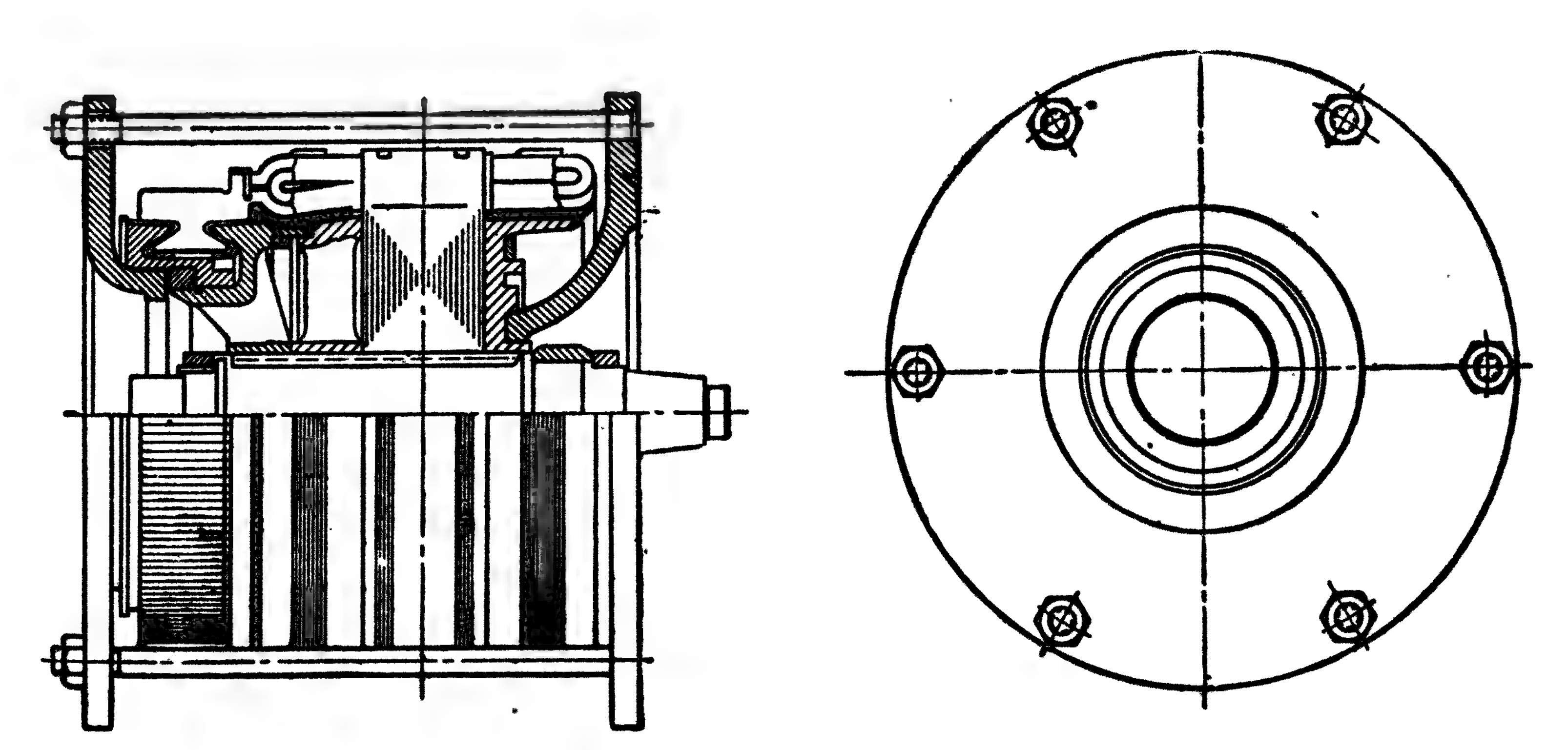


Рис. 7-5. Выпрессовка поломанного вала.

7-3. РЕМОНТ СТАНИН И ПОДШИПНИКОВЫХ ЩИТОВ

Ремонт механических деталей, подшипниковых щитов, станин и т. п. сводится к заварке трещин и восстановлению изношенных посадочных мест.

Заваривать трещины в чугуне в нагретом состоянии можно ацетилено-кислородным пламенем или чугунным электродом, в холодном состоянии — медным электродом или сваркой стальным электродом стальных шпилек, ввернутых в чугун на резьбе (метод прошивки). Если толщина

треснувшей стенки более 5 *мм*, то перед сваркой ручным или пневматическим зубилом скашивают кромки трещины (разделка) по всей длине под углом 45—60°. Конец трещины во избежание ее распространения можно засверлить.

Наилучшее качество шва дает горячая заварка чугуна ацетилено-кислородным пламенем, однако она весьма трудоемка, так как требует разогрева детали в печи до 700—800° С, сварки или наварки на горячей детали (без выема из печи) и дальнейшего медленного остывания детали вместе с печью в течение 24—80 *ч*.

Холодную заварку трещины медью производят медным электродом, обернутым полоской белой жести с обмазкой ОММ25 или жидким стеклом.

Наплавленную медь посыпают бурой и в процессе наложения шва проковывают. После заварки медь зачищают острым зубилом и абразивами. Таким способом можно заваривать трещины в посадочных местах.

При прошивке по обеим сторонам разделанной трещины ввертывают в шахматном порядке шпильки, проходящие насквозь через стенку, после чего стальным электродом производят сварку (с обеих сторон стенки). Этим методом сваривают крышки и тому подобные детали, не подверженные большой вибрационной или ударной нагрузке. Подробнее о сварке чугуна см. [Л. 11].

Посадочные поверхности могут быть восстановлены теми же методами, какие указывались в § 7-2.

7-4. РЕМОНТ ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ

Ремонт подшипников сводится обычно к перезаливке или изготовлению новых вкладышей. Неразъемные вкладыши вытаскивают из подшипниковых щитов после отвертывания стопорного болта специальным приспособлением (рис. 7-6). Этим же приспособлением производят обратную запрессовку вкладышей после ремонта.

Верхнюю половину разъемного вкладыша снимают после освобождения крышки подшипника, нижнюю же половину вынимают поворотом ее вокруг вала, после того как вал краном или домкратом несколько приподнимается вверх для разгрузки нижней половины вкладыша.

Если требуется перезаливка вкладыша баббитом, то после выплавления старого баббита поверхность вкладыша должна быть тщательно очищена, протравлена кислотой и облужена.

Перед заливкой вкладыш должен быть нагрет до 250° С, иначе баббит будет отставать от стенок вкладыша.

Для заливки применяется баббит двух марок: Б-16 и и Б-83, первый содержит 16% олова, второй 83% (баббит состоит из олова, свинца, меди и сурьмы). Баббит Б-83 применяется для наиболее ответственных электродвигателей, имеющих большую нагрузку подшипников, которая зависит от давления на подшипник и числа оборотов машины. Он рекомендуется для тяжелых приводов (компрессорные, прокатные и быстроходные двигатели). Для нормальных электродвигателей применяется баббит Б-16.

При плавлении баббита поверхность его должна быть очищена от шлака, а для предотвращения окисления на поверхность расплавленного баббита можно посыпать древесный уголь.

Очищать расплавленный баббит рекомендуется также сухим хлористым аммонием (нашатырем), кусочек которого, завернутый в бумагу, помещают в луженую стальную трубку с отверстием и опускают на дно тигля с расплавленным баббитом. Температура баббита при заливке должна быть в пределах 400—450° С.

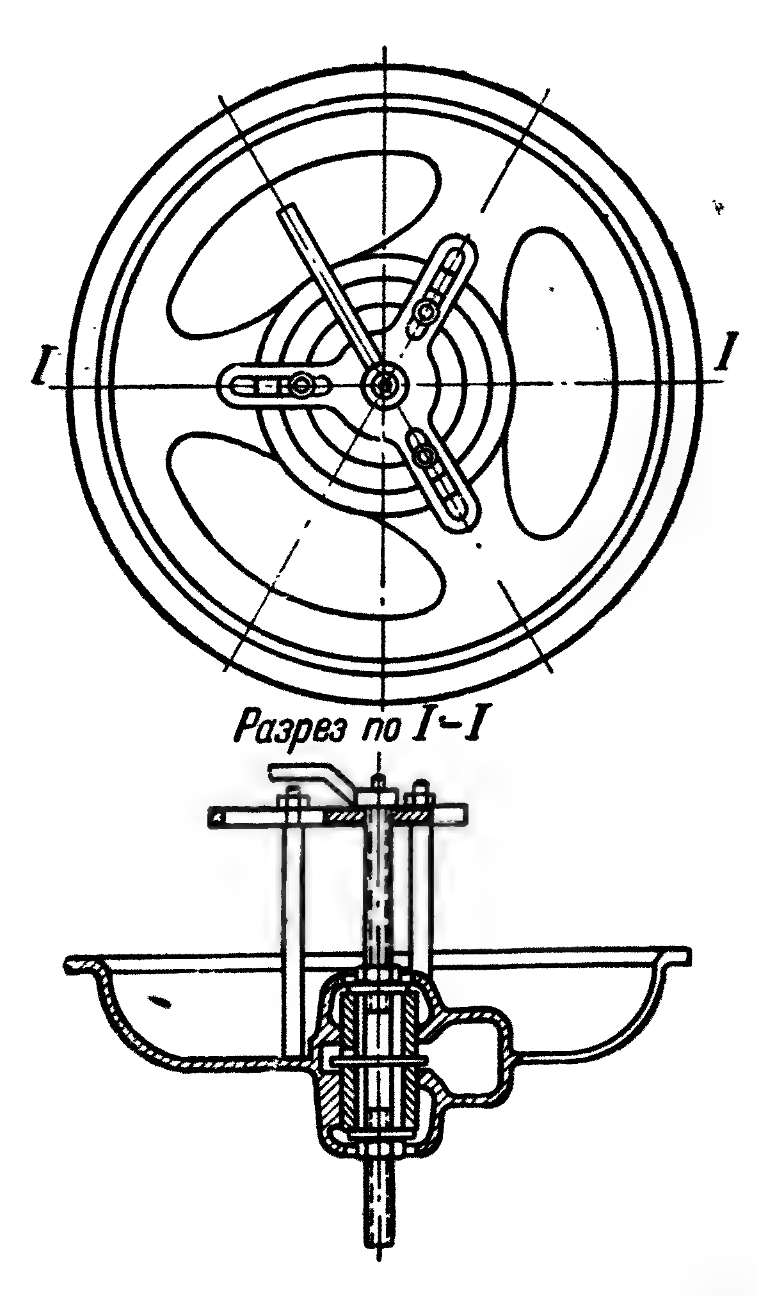


Рис. 7-6. Выпрессовка вкладыша

Наилучшим способом заливки является *центробежная заливка,* которая обеспечивает минимальный расход баббита за счет сокращения припуска на обработку, а также высокие антифрикционные свойства (минимальное трение) слоя баббита и прочное сцепление его со стенками вкладыша.

Расплавленный баббит вводится при этом способе внутрь вращающегося вкладыша, для чего используется либо специальный станок [Л. 19], либо приспособление, устанавливаемое на токарный станок (скорость вращения

для вкладышей с внутренним диаметром 30—150 *мм* равна соответственно 1 500—700 *об/мин*).

Для ручной заливки применяется приспособление по рис. 7-7.

Внутрь вкладыша вставляют сердечник конусной формы, облегчающей выбивку его после заливки. Диаметр сердечника должен быть рассчитан так, чтобы у слоя баббита имелся достаточный припуск на обработку. При диаметре вала 50—60 *мм* припуск должен составлять 8—10 *мм,* при вале 100—150 *мм*—припуск 15—20 *мм.* Обе половины разъемного вкладыша перед заливкой схватываются хомутами, между ними прокладывается тонкий листовой асбест для облегчения разъема после заливки. Снаружи для предупреждения протекания баббита через имеющиеся во вкладыше отверстия (канавки для смазочных колец и т. д.) вкладыш обертывается асбестовой бумагой или обмазывается глиной.

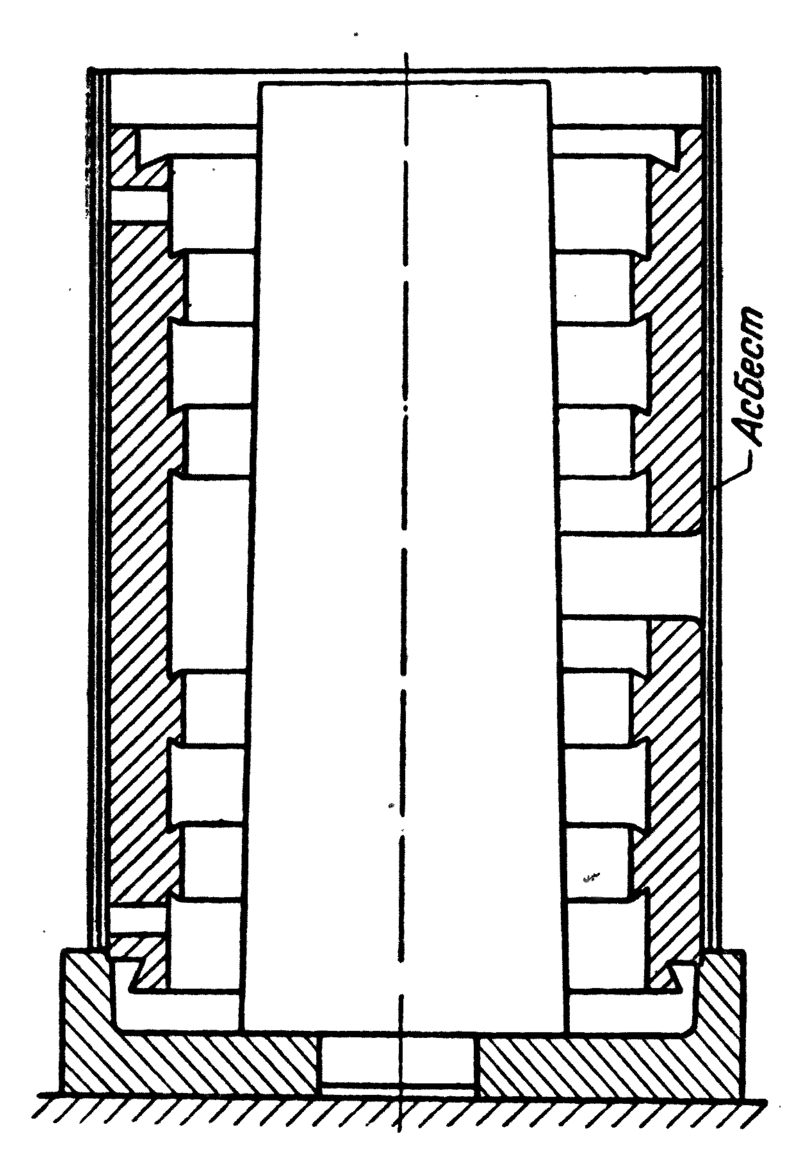


Рис. 7-7. Заливка вкладыша баббитом.

Заливают медленно непрерывной струей, причем для выхода газов поверхность заливки протыкают прутом. После заливки и остывания вкладыш протачивают с припуском на пришабривание.

У разъемных вкладышей после заливки вкладыш делится на две половины, места разъема очищаются, между половинками вкладыша кладут регулировочные медные прокладки общей толщиной 0,8—1,2 *мм,* позволяющие при дальнейшей эксплуатации путем их удаления уменьшать по мере разработки подшипника зазор между валом и вкладышем. Обе половины вместе с прокладками схватывают хомутом, после чего подшипник растачивают.

Затем прорезают смазочные (маслораспределительные) канавки. У хорошо работающего подшипника вал «всплывает» на смазку, так что между валом и вкладышем обра-

зуется тонкий слой масла. Образование этого слоя и составляет основу работы подшипника, так как при наличии слоя трение вала о вкладыш прекращается, а имеет место лишь взаимное скольжение частиц масла внутри слоя смазки. Так как вал всплывает на смазку, то давление на слой смазки может быть очень большим, и подшипник должен быть построен так, чтобы масло не могло выдавливаться из-под шейки вала. С этой точки зрения крестообразные канавки не могут быть рекомендованы, так как по ним масло будет уходить из-под вала. Наиболее рациональной формой являются продольные канавки, проходящие лишь в тех местах (обычно сбоку), где давление вала на вкладыш имеет наименьшую величину. Они, разумеется, не должны доходить до края вкладыша или сообщаться с маслоуловительными канавками. Такие канавки вырубают крейцмейселем или на токарном станке подачей резца с суппортом вдоль станины станка при неподвижном шпинделе. На токарном же станке можно прорезать канавки под смазочное кольцо при изготовлении нового вкладыша. Вкладыш ставят эксцентрично к оси патрона, после чего резцом делают канавку.

Резцом (при нормальной установке вкладыша) протачивают маслоуловительные канавки по краям вкладыша.

Ширина маслораспределительных и маслоуловительных канавок для подшипников с диаметром шейки вала 10—150 *мм* делается 3—6 *мм* и глубина 1,5—3 *мм.*

Маслоуловительные канавки через отверстия, проходящие через стенку вкладыша снизу, должны сообщаться с масляной камерой щита (стойки).

Далее подшипник пришабривают. У разъемных вкладышей пришабривают отдельно нижнюю и верхнюю половины.

Старый баббит может быть использован после добавления к нему 30—50% нового.

Наряду с баббитом Б-16 для заливки вкладышей нормальных электрических машин применяется сплав алькусин Д.

Для заливки стального или чугунного вкладыша алькусином Д на внутренней его поверхности вытачивают канавки с отлогими краями, обеспечивающие крепление сплава на стенках вкладыша. Острые края, ласточкин хвост и т. д. не допускаются вследствие неодинакового расширения алькусина и втулки.

После вытачивания канавок вкладыш обезжиривают в 10%-ном растворе каустической соды.

Перед заливкой вкладыш должен быть подогрет до 500—550° С и очищен стальной щеткой. При заливке может применяться приспо-

собление (рис. 7-7), причем все щели, через которые может протекать алькусин, должны быть тщательно замазаны глиной.

Рекомендуется применение сердечников из чугуна.

Температура алькусина перед заливкой должна быть в пределах 750—800° С. Залитый вкладыш растачивают на токарном станке с припуском на шабровку 0,1 *мм.*

В связи с повышенной по сравнению с баббитом твердостью пришабривание вкладыша, залитого алькусином, должно быть сделано особо тщательно.

Зазоры между валом и подшипником отремонтированных машин должны быть в пределах, указанных в табл. 7-2.

Таблица 7-2

Зазоры между валом и вкладышем

Диаметр вала, *мм*	Зазор, *мм*	
	$n < 1\,000$ *об/мин*	$n > 1\,000$ *об/мин*
18—30	0,4—0,095	0,06—0,12
30—50	0,05—0,110	0,075—0,14
50—80	0,065—0,135	0,095—0,175
80—120	0,080—0,160	0,120—0,210
120—180	0,100—0,195	0,150—0,250
180—260	0,120—0,225	0,180—0,295
260—360	0,140—0,250	0,210—0,340

Вопрос ремонта или перезаливки подшипников машины, находящейся в эксплуатации, решается обычно не столько на основании измерения зазора в подшипнике, сколько главным образом по эксцентриситету воздушного зазора (см. гл. 1).

7-5. РЕМОНТ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ

Ремонт шарико- и роликоподшипников в электроремонтном цехе не производится. Исключение составляют кольца каких-либо специальных упорных подшипников, которые при необходимости могут быть изготовлены в инструментальном цехе предприятия.

Если установлен сильный износ рабочих поверхностей и деталей (сепаратор, кольца, шарики), подшипники должны заменяться новыми. Некоторую ориентировку при осмотре может дать табл. 7-3.

При известном навыке степень износа подшипника после промывки бензином до стаскивания с вала может быть определена по легкости хода и величине люфта наружной

обоймы, стуку, шуму и т. д. при вращении наружной обоймы подшипника от руки.

Если при определении объема ремонта до разборки есть возможность пустить машину, то следует проверить нагрев подшипников и характер шума его при номинальном числе оборотов.

При исправном подшипнике с чистой смазкой температура его должна быть незначительно (на 5—10° С) выше температуры подшипникового щита.

Если же указанная разность больше, а температура подшипника приближается к предельно допустимой (табл.

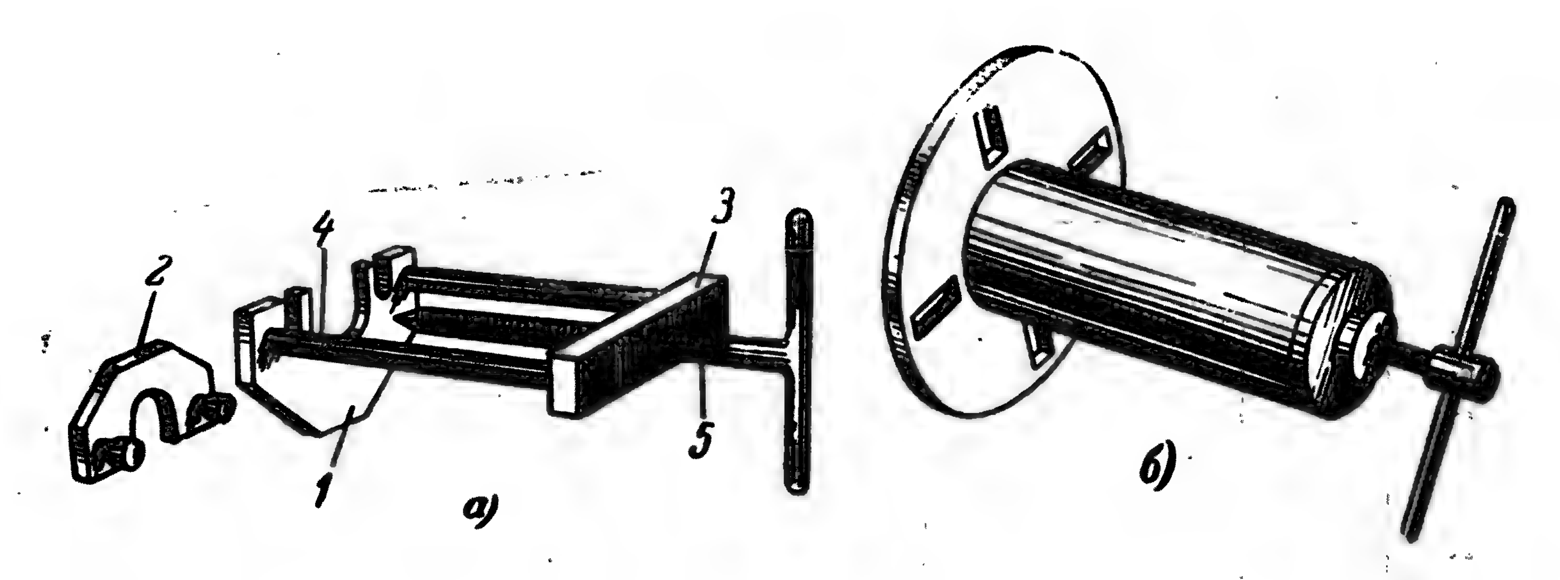


Рис. 7-8. Съемник для шариковых и роликовых подшипников.
а — с захватом за подшипник; *б* — с захватом болтами за задний фланец или капсюль.

2-1), то следует обнаружить причину перегрева (табл. 7-3) и в случае необходимости заменить подшипник.

При наличии шума подшипника следует иметь в виду сильную зависимость характера шума от монтажа (посадка, затяжка фланцев, осевое давление и т. д.).

Стаскивать подшипник с вала без крайней необходимости не следует, так как при этом ослабляется посадка и возможно повреждение подшипника.

Стаскивать надо стяжками с упором непосредственно во внутреннее кольцо подшипника.

Для этой цели разработаны конструкции стяжек, не требующие большого расстояния между внутренней обоймой и сидящими рядом на валу деталями. К их числу относятся, например, стяжки с захватом за кольцо с прорезью, которое надевается на вал сзади внутренней обоймы подшипника (рис. 7-8). Тем не менее в ряде случаев внутренняя обойма подшипника недоступна, и снятие производится за наружную обойму. Если при этом приходится прилагать очень большое усилие, то лучше не ставить этот подшипник обратно.

Таблица 7-3

Неисправности подшипников качения

Признак		Причина
Следы от катания шариков или роликов на беговых дорожках		
Наружное (неподвижное) кольцо	Внутреннее кольцо	
На половине кольца на дне дорожки	Постоянной ширины на дне дорожки	Длительная работа, нормальный износ Перегрузка. Монтаж правильный
В двух диаметрально расположенных местах	То же	Радиальное защемление (овальность) наружного кольца
Постоянной ширины на дне дорожки	Постоянной ширины на дне дорожки	Чрезмерный натяг при посадке внутреннего кольца Защемление шариков (роликов)
Смещен к краю дорожки	Смещен к краю дорожки	Чрезмерная осевая нагрузка. Наружное кольцо не может двигаться в осевом направлении
След перекошен под углом к беговой дорожке	Широкий след, параллельный краям дорожки	Перекос наружного кольца
На одной половине кольца параллелен краям дорожки	Перекошен (под углом к беговой дорожке)	Перекос внутреннего кольца или кривизна вала

Состояние поверхности беговых дорожек	
Отшлифованная матовая поверхность	Попадание пыли. Зола, твердые вещества в смазке
Сработка беговой дорожки	То же
Шероховатая	Перегрузка. Неточный монтаж
Чешуйчатые разрушения	Длительный срок службы — износ. Перегрузка
Следы действия кислот. Ржавчина	Содержание кислот в смазке. Попадание воды
Отпечатки шариков (роликов)	Посадка с чрезмерным натягом или удары при монтаже
Мелкие отпечатки	Попадание посторонних тел
Оплавленные и содранные места	Прохождение тока
Состояние шариков (роликов) сепаратора	
Следы вращения внутреннего кольца на валу или наружного в корпусе	Слабая посадка
Чешуевидное разрушение поверхности шарика (ролика)	Длительный срок службы — износ. Перегрузка
Разрушение поверхности половины шарика (ролика)	Шарик зажат сепаратором. Перегрузка
Шарик (ролик) раскололся	Перегрузка
Износ ребер ролика	Перекос колец
Износ торцов ролика	Чрезмерная осевая нагрузка
Разрушение сепаратора	Работа без смазки. Осевое защемление
Шум	Износ деталей. Зажаты шарики. Нет смазки.
	Дефект изготовления
Тугой ход	Загрязнение
Нагревание	Плохая смазка. Зажаты шарики. Трение в уплотнении

Если подшипник сидит слишком туго, можно попробовать подогреть его обливанием горячим маслом.

Для облегчения снятия внутренней обоймы подшипника с вала может применяться индукционный нагрев токами повышенной частоты (500 *пер/сек* и более) [Л. 13].

Посадка внутреннего кольца на вал должна быть настолько напряженной (с подогревом внутреннего кольца), чтобы в эксплуатации внутреннее кольцо на валу ни при каких условиях не проворачивалось.

Наружное кольцо должно садиться в гнездо щита под действием легких ударов молотка (через медное кольцо, фибровую колодку и т. п.).

Слишком легкая посадка наружного кольца, дающая ему возможность свободно вращаться в гнезде, недопустима.

Изношенный подшипник должен заменяться подшипником того же номера (номер нанесен на торце подшипника). В исключительных случаях при отсутствии требуемого подшипника может быть применен подшипник из наличия, габаритные размеры которого допускают установку в гнездо при помощи промежуточных втулок (по наружному и внутреннему диаметру) и упорных колец (по ширине). Долговечность такого подшипника-заменителя будет ниже, чем нормального.

При монтаже подшипников следует иметь в виду, что полированные поверхности легко ржавеют, поэтому браться за подшипник влажными руками нельзя. Промывать подшипники следует бензином, а не керосином.

Набивка подшипника густой смазкой во избежание ее выдавливания в машину производится с заполнением $^2/_3$ объема камеры.

7-6. БАЛАНСИРОВКА РОТОРОВ

Если вращающаяся часть машины не уравновешена, то при вращении ее появляется сотрясение (вибрация) всей машины. Вибрация вызывает разрушение подшипников, фундамента и самой машины. Для устранения вибрации вращающиеся части должны быть отбалансированы. *Различают балансировку статическую, выполняемую на призмах, и динамическую при вращении балансируемой детали.* Если, например, ротор, изображенный на рис. 7-9,*а*, имеет более тяжелую половину *II*, то при вращении центробежная сила этой половины будет больше центробежной силы половины *I*. Она будет создавать давление на под-

шипники, переменное по направлению, и вызывать сотрясение машины. Такой небаланс устраняется статической балансировкой на призмах. Ротор шейками вала ставится на призмы, точно выверенные по горизонтали, и при этом, естественно, поворачивается тяжелой стороной вниз. На верхнюю сторону в специальные канавки, которые предусматриваются в нажимных шайбах и обмоткодержателях, подбирают и ставят свинцовые грузы такого веса, чтобы ротор оставался на призмах в безразличном положении. После балансировки свинцовые грузы обычно заменяют на

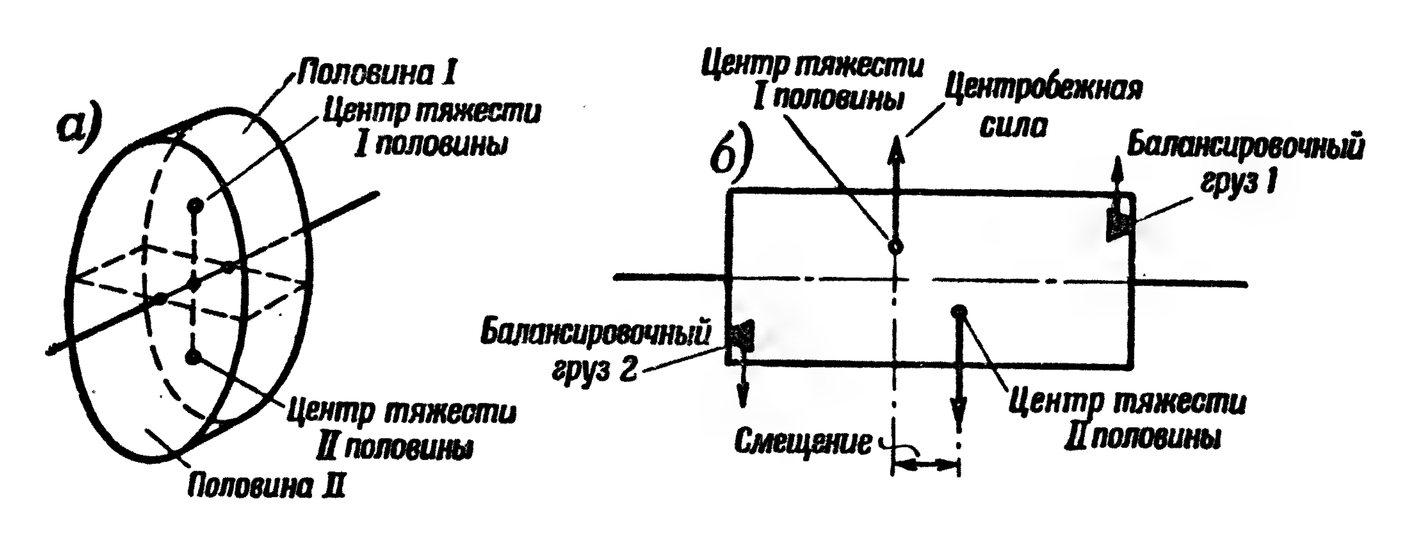


Рис. 7-9. Смещение центра тяжести ротора.

стальные одинакового веса, которые надежно приваривают или привертывают к ротору. Однако *для длинных якорей и роторов статической балансировки недостаточно*. Даже если отбалансировать обе половины ротора так, что веса обеих половин будут одинаковыми (рис. 7-9,*б*), то может оказаться, что центры тяжести сдвинуты по оси машины. В этом случае центробежные силы двух половин не могут уравновесить друг друга, а создают пару сил, вызывающую переменное давление на подшипники. Для устранения действия этой пары сил должны быть размещены специальные грузы (рис. 7-8,*б*) с тем, чтобы создать пару сил, действующую обратно паре сил небаланса. Найти величину и положение этих грузов можно путем балансировки вращающегося ротора (динамическая балансировка).

Перед проведением динамической балансировки следует проверить рабочие поверхности ротора (шейки и концы вала, коллектор, контактные кольца, сталь ротора) на отсутствие биения и при необходимости устранить его. Если для установки ротора на станок применяются какие-либо оправки, то они должны быть проверены на отсутствие биения и небаланса.

На роторе не должно быть плохо закрепленных деталей, так как в этом случае балансировка невозможна. Для проведения динамической балансировки ротор укладывают в подшипники специального станка. Эти подшипники укреплены на плоских пружинах и по желанию могут либо быть закреплены неподвижно специальным тормозом, либо совершать свободные колебания вместе с пружиной (рис. 7-10,*а*). Ротор при помощи электродвигателя и муфты приводится во вращение. Появляющаяся при этом сила небаланса, которая направлена радиально, будет раска-

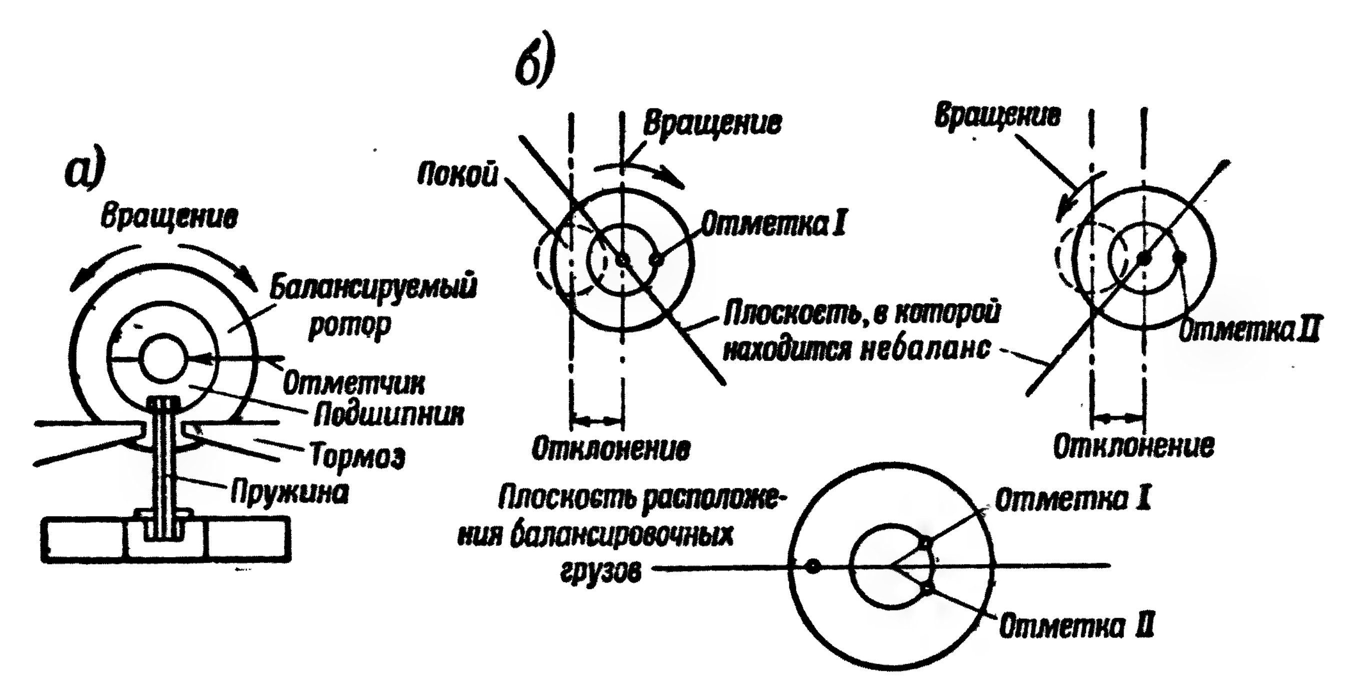


Рис. 7-10. Схема динамической балансировки.

чивать подшипники станка. Для проведения балансировки один подшипник закрепляется тормозом неподвижно, второй освобождается и под влиянием небаланса колеблется. На какой-либо точно обработанной поверхности ротора, концентричной с осью вала, делают цветным карандашом отметку, показывающую точку наибольшего отклонения ротора (рис. 7-10,*б*).

Однако по этой точке еще нельзя точно определить место, где находится небаланс ротора, так как наибольшее отклонение ротора получается после прохождения силы небаланса через горизонтальную плоскость, в которой находится отметчик (карандаш).

Угол сдвига (т. е. угол между точкой небаланса и отметкой) зависит от отношения скорости вращения к собственной частоте колебания ротора на опорах, т. е. к частоте колебаний, которые будут иметь место, если толкнуть невращающийся ротор, установленный на опорах станка.

При совпадении числа оборотов в секунду с собственной частотой имеет место резонанс. Колебания приобретают наибольший размах и, следовательно, станок становит-

ся наиболее чувствительным. Поэтому стремятся вести балансировку при резонансном числе оборотов. При этом указанный выше угловой сдвиг становится близким к 90° и, следовательно, место небаланса может быть найдено отсчетом от середины отметки 90° вперед по вращению (а место установки груза 90° против вращения). Если же почему-либо работать на резонансной скорости нельзя, то для определения места положения небаланса повторяют описанный опыт при обратном направлении вращения при том же числе оборотов в минуту. Отметку делают карандашом другого цвета. Тогда середина между двумя отметками определяет место, где находится небаланс. В диаметрально противоположной точке устанавливают балансный груз. Величину этого груза определяют подбором до исчезновения вибрации подшипника. Вместо укрепления груза балансировка может быть получена путем высверливания противоположной части якоря. После того как отбалансирована одна сторона ротора, подшипник этой стороны закрепляют неподвижно, а подшипник второй стороны освобождают и аналогичными приемами балансируют вторую сторону. После этого проверяют балансировку первой стороны и в случае необходимости корректируют и т. д.

В настоящее время существует большое число станков для динамической балансировки, на которых местоположения и величины груза определяются достаточно удобно и точно. Методы работы на этих станках даются в инструкциях заводов-изготовителей.

При отсутствии специальных станков динамическая балансировка может производиться на прочных деревянных брусьях, уложенных на резиновые прокладки. На эти брусья кладут либо непосредственно шейки вала балансируемого ротора, либо вкладыши подшипников, в которых лежат шейки вала. При помощи клиньев брусья могут закрепляться неподвижно. Ротор разворачивается ременной передачей, охватывающей непосредственно сталь, затем клин вынимается, и подшипник получает возможность колебаться на резиновых подкладках. Процесс балансировки аналогичен описанному выше.

В условиях ремонта, в особенности для крупных машин, целесообразна балансировка в собственных подшипниках [Л. 8]; для этой цели машину запускают вхолостую и измеряют вибрацию подшипников. Это измерение следует производить при помощи виброметров (например, типов ВР-1, ВР-3, 2ВК, 3ВК).

При отсутствии виброметров вибрацию можно измерить индикатором, укрепленным на массивной тяжелой рукоятке. Прижимая щуп такого индикатора к колеблющейся детали, можно по ширине размытого очертания стрелки определить величину размаха колебания.

Следует иметь в виду, что показания такого виброметра сильно зависят от скорости вращения и что поэтому его показания можно использовать главным образом как сравнительные при одном и том же числе оборотов машины, что достаточно для целей балансировки.

Измеряя вибрацию подшипника в различных направлениях, находят точку наибольшей вибрации. По этой точке и ведется балансировка.

Для балансировки используют метод «трех пусков», заключающийся в том, что на роторе отмечают три точки, находящиеся под углом 120°, и закрепляют пробный груз по очереди в этих точках, измеряя каждый раз величину вибрации подшипника.

Обозначая точку установки пробного груза, при котором получилась наименьшая вибрация, через D_1, а размах колебания подшипника при этом S_1, точку, соответствующую средней величине вибрации, через D_2 и размах S_2 и точку, соответствующую наибольшей вибрации, через D_3 и размах через S_3, можно при помощи номограмм Е. Я. Казовского (см. приложения 6 и 7) определить величину угла δ, отсчитываемого от точки D_1 по направлению к точке D_2, определяющего место положения балансировочного груза G_y и величину этого груза, которая находится как среднее арифметическое $G_y = 1/3(G_{y1} + G_{y2} + G_{y3})$ трех величин грузов G_{y1}, G_{y2}, G_{y3}, найденных из номограммы по соответствующему отношению $S_{пр}/S$, где $S_{пр} = S_1$, S_2, S_3, а величина S соответствует размаху колебаний до установки грузов.

Как видно из номограммы (приложения 6 и 7), она может давать для G_{y1} и G_{y2} два значения. Следует принимать значения, более близкие к G_{y3}.

Подобным методом ведется балансировка одной стороны, затем другой с соответствующей проверкой и корректировкой первой стороны.

Существует аппаратура (как, например, балансировочный виброскоп системы Колесника типов 2ВК и 3ВК производства Ленинградского инструментального завода), позволяющая определить величину и положение балансировочного груза при меньшем числе пусков [Л. 8].

Наиболее просто качество балансировки может быть проверено путем установки машины на гладко строганую

горизонтальную плиту. При удовлетворительной балансировке машина, работающая с номинальным числом оборотов, не должна иметь качаний и перемещений по плите. Проверка производится при холостом ходе в режиме двигателя.

ГЛАВА ВОСЬМАЯ

ИСПЫТАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

8-1. ВИДЫ ИСПЫТАНИЙ

В ремонтной практике встречаются следующие виды испытаний:

а) испытания до начала и в процессе ремонта с целью уточнения характера неисправности;

б) испытания вновь изготавливаемых деталей машины;

в) испытания собранной вышедшей из ремонта машины.

Общие указания по программе и методике испытаний электрических машин даются в ГОСТ 183-55.

Испытание собранной после ремонта машины должно проводиться по следующей программе:

1. Проверка сопротивления изоляции всех обмоток относительно корпуса и между собой.
2. Проверка правильности маркировки выводных концов.
3. Измерение сопротивлений обмоток.
4. Проверка коэффициента трансформации (для асинхронного двигателя с фазным ротором).
5. Проведение опыта холостого хода.
6. Испытание на повышенную скорость вращения (на «разнос»).
7. Испытание изоляции между витками.
8. Проведение опыта короткого замыкания.
9. Испытание на нагревание под нагрузкой.
10. Испытание электрической прочности изоляции (на «пробой»).

В зависимости от характера ремонта в отдельных случаях можно ограничиться лишь частью проведенной программы испытаний. Точно так же, если испытание проводится до ремонта с целью выявления дефекта, то может оказаться достаточным проведение какой-либо части программы (в соответствии с тем, что говорится ниже по каждому из пунктов программы).

8-2. ПРОВЕРКА СОПРОТИВЛЕНИЯ ИЗОЛЯЦИИ

Проверку сопротивления изоляции удобнее всего производить мегомметром (типа МОМ). Для большинства машин достаточен мегомметр на напряжение 500 *в*. Для машин высокого напряжения лучше применять мегомметр с напряжением 1 000 и 2 500 *в*.

Если в машине есть конденсаторы для защиты от радиопомех, то следует убедиться, что их пробивное напряжение выше, чем напряжение мегомметра. В противном случае их следует отсоединить.

При отсутствии мегомметра сопротивление изоляции можно измерить вольтметром постоянного тока с достаточно высоким (не менее 300 *ом* на 1 *в*) внутренним сопротивлением $R_в$, которое должно быть известно[1]. Должен также иметься источник постоянного напряжения 110—220 *в*.

Для измерения сопротивления изоляции вольтметр включают сначала непосредственно на зажимы источника напряжения, а затем — к тем же зажимам, однако через сопротивление изоляции, подлежащее измерению, т. е. в цепь вольтметра включают конец обмотки, сопротивление изоляции которой относительно корпуса хотят измерить, и корпус.

Если в первом случае вольтметр показывает $U_1[в]$, а во втором $U_2[в]$, то искомое сопротивление изоляции $R_{из}$ будет:

$$R_{из} = R_в \left(\frac{U_1}{U_2} - 1\right).$$

Степень увлажненности и загрязнения изоляции можно установить методом снятия кривых абсорбции. Для этой цели к изоляции прикладывают постоянное напряжение и определяют зависимость тока, текущего через изоляцию, от времени. В первый момент через изоляцию проходят ток утечки и зарядный ток, который постепенно затухает, в результате чего общий ток, текущий через изоляцию, уменьшается (и, следовательно, сопротивление изоляции увеличивается). Взяв отношение тока в начальный момент (обычно через 15 *сек*) к току в конце испытания (обычно через 60 *сек* после приложения напряжения) I_{15}/I_{60}, можно судить о степени увлажненности и загрязнения изоляции. Чем это отношение больше, тем суше и чище изоляция. Ес-

---

[1] Обычно величина $R_в$ дается на шкале вольтметра.

ли это испытание производится мегомметром, показывающим сопротивление (а не ток), то очевидно, что следует взять обратное отношение—R_{60}/R_{15}.

8-3. ИЗМЕРЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ОБМОТОК

Измерять сопротивление обмоток следует особенно тщательно, так как только в этом случае могут быть обнаружены даже незначительные изменения его, указывающие на появление неисправности, замыкание между витками, ухудшение пайки и т. д. Кроме того, точно измеренное сопротивление холодной (до пропускания тока) обмотки дает возможность по измерению сопротивления нагретой обмотки определить температуру ее нагрева. Отклонение сопротивления обмотки от расчетного не должно быть более ±5%.

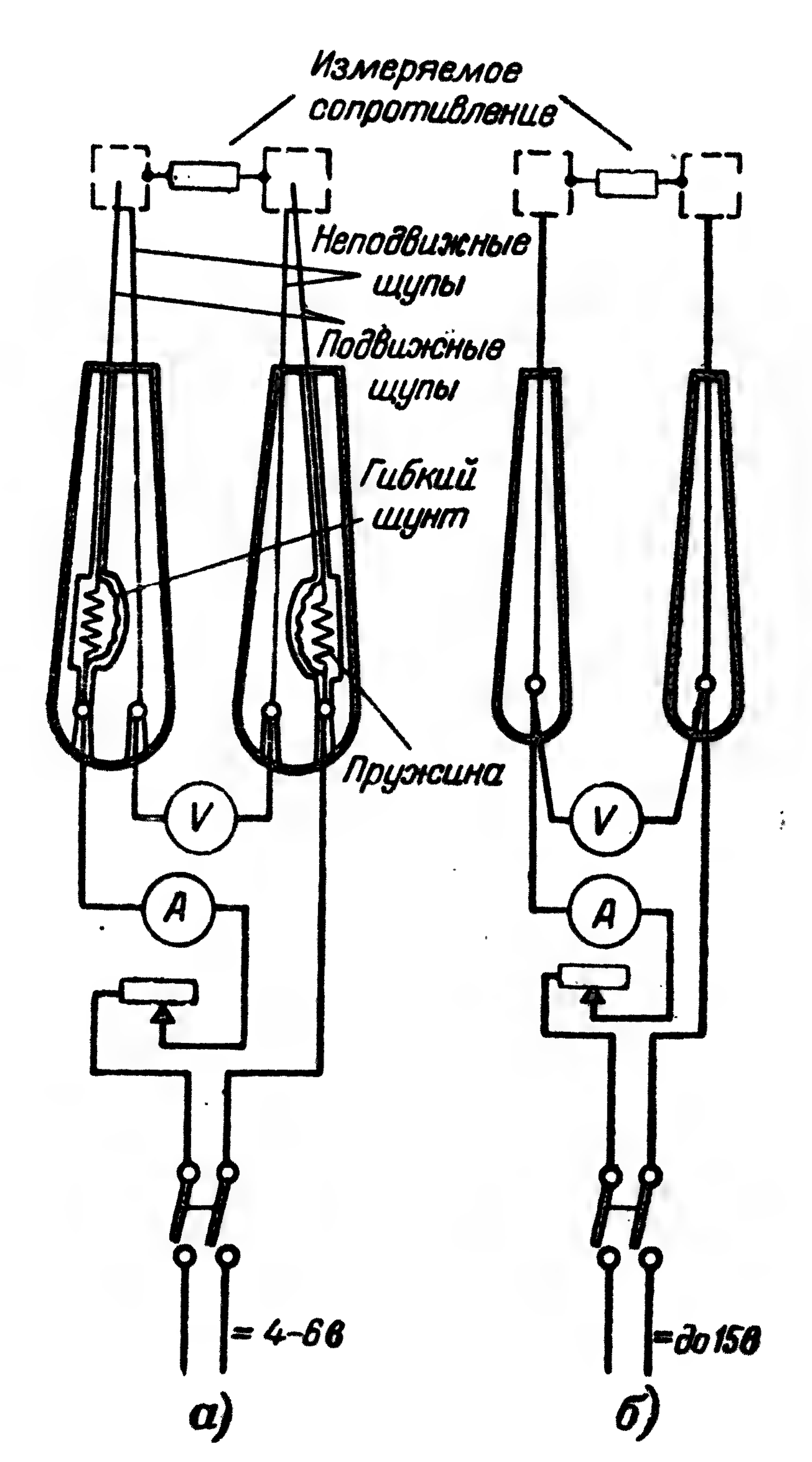


Рис. 8-1. Схема для измерения сопротивлений.

а — для небольших сопротивлений; *б* — для больших сопротивлений.

Существуют два основных метода измерения сопротивления: метод вольтметра и амперметра и метод мостов.

Первый метод основывается на одновременном измерении напряжения на обмотке и тока, проходящего через нее. Отношение этих двух величин дает сопротивление обмотки. Для получения достаточно точных результатов должны применяться вольтметр и амперметр (класса точности не ниже 0,5), дающие погрешность не более 0,5%. Большое значение придается схеме, применяемой для измерения.

Наиболее точные результаты дает схема рис. 8-1,*а*, в которой вольтметр имеет отдельные концы (щупы), не-

посредственно подключенные к измеряемому сопротивлению. Схема рис. 8-1,*б* приводит к грубым ошибкам при измерении небольших сопротивлений (до 1 *ом*), так как измеряется не только сопротивление самой обмотки, но и сопротивление контакта между обмоткой и токоведущими концами (щупами), которое может быть весьма значительным.

Удобна конструкция, при которой два стальных щупа (один токовый, другой вольтметровый) объединены в одной рукоятке из изоляционного материала (рис. 8-1,*а*). Токовый щуп имеет при этом несколько бо́льшую длину и при нажиме может перемещаться в продольном направлении, сжимая при этом пружину, находящуюся в ручке. Для работы нужно два таких сдвоенных щупа.

Для измерения сопротивления мостом необходимо иметь *двойной мост* (мост Томсона), позволяющий измерять малые сопротивления (менее 1 *ом*). Для измерения этим мостом применяются двойные щупы, описанные выше.

Одинарным мостом (мостом Уитстона) можно измерять сопротивления более 1 *ом*. Для этого моста требуются одиночные щупы, причем сопротивление соединительных концов и переходное сопротивление контакта между щупом и обмоткой входят в измеряемую величину (поэтому этот мост дает недостаточно точные результаты при измерении сопротивлений менее 1 *ом*).

Обычно двойные мосты являются комбинированными и могут переключаться на схему одинарного моста.

Различают мосты со штепсельным переключателем, рычажным переключателем и реохордом. Последний тип мостов дает возможность наиболее быстрых измерений, однако он наименее точен (погрешность до 1—3%).

При измерении сопротивления обмоток следует иметь в виду, что оно зависит от температуры обмотки. Поэтому при проверке совпадения расчетных и фактических данных следует проводить измерения холодной обмотки (до пропускания по ней рабочего тока) и одновременно измерять при помощи термометра, заложенного в машину, температуру этой обмотки.

Сопротивление и температура обмотки должны быть записаны в журнале испытаний.

Измерения так называемых холодных сопротивлений обмоток, производящиеся для определения превышения их температур (см. ниже), несколько отличаются от измерения сопротивлений обмоток

с целью проверки их исправности (соответствия расчету, предшествовавшим измерениям и т. д.).

В то время как измерение сопротивления обмоток проводится на выводных концах обмоток, для определения перегрева может быть измерено сопротивление доступной части обмотки, так как в этом случае нужно знать только относительное изменение сопротивления.

Сопротивление якорей машин постоянного тока небольшой и средней мощности следует измерять на двух пластинах, отстающих друг от друга на полюсное деление по коллектору, т. е. на число пластин $\frac{К}{2p}$, где К — общее число пластин коллектора, а $2p$ — число полюсов.

Для крупных многополюсных машин может быть применен метод, при котором под часть (1—2) щеток на каждом пальце подкладывается фольга[1] и пропускается ток 5—10% номинального. Вольтметром измеряют падение напряжения между пластинами коллектора, находящимися под серединами щеток. Отношение средней величины этого напряжения к току дает искомое сопротивление.

Для измерения температуры якоря достаточно измерить сопротивление между любой легко доступной парой коллекторных пластин, которые должны быть хорошо отмечены красной или белой эмалевой краской. Это позволит при измерении сопротивления нагретого якоря измерить его на тех же пластинах, что весьма существенно с точки зрения точности определения превышения его температуры.

При выборе двух пластин следует стремиться взять наибольшее по доступности пластин сопротивление (по возможности ближе к полюсному шагу между пластинами).

8-4. ПРОВЕРКА ПРАВИЛЬНОСТИ МАРКИРОВКИ ВЫВОДНЫХ КОНЦОВ

а) Асинхронные трехфазные двигатели

Правильность обозначения начала и конца обмотки фазы проверяют следующим образом.

Обмотки двух фаз соединяют последовательно и включают к напряжению сети. Обмотку третьей фазы присоединяют к вольтметру.

[1] Остальные щетки поднимаются.

Если э. д. с. этой фазы равна нулю, то первые две фазы соединены вместе одноименными выводами (т. е. началами или концами).

Далее опыт повторяют таким образом, что фазу, включенную в первом опыте на вольтметр, меняют местами с одной из двух фаз, бывших под напряжением.

б) Трехфазные синхронные генераторы и электродвигатели

Аналогичный метод применим и для синхронных машин. Напряжение, которое прикладывается к статорным фазам, должно быть подобрано так, чтобы не получить чрезмерного тока.

Если есть возможность вращать возбужденный синхронный генератор, то правильность обозначений фаз можно установить по симметрии напряжений между началами обмоток, концы которых соединены вместе (соединение звездой).

Если напряжения несимметричны, то нужно поменять обозначения (начало и конец) у той фазы, которая дает с двумя другими пониженные напряжения.

Чередование фаз (какая из фаз является первой, второй и третьей) определяют при помощи указателя чередования фаз, который представляет собой маленький асинхронный двигатель с ротором в виде диска.

Таким путем маркируют начала и концы всех трех фаз. Обозначения выводов (концов) фаз по ГОСТ 183-55 приведены в табл. 8-1, 8-2, 8-3.

В том случае, если машина имеет составные или секционированные обмотки, впереди прописных букв обозначения ставится номер обмотки, например 1С1, 1С2, 2С1, 2С2 и т. д.

Для машин с секционированными обмотками, имеющими разные числа полюсов, впереди букв обозначения ставится цифра, соответствующая числу полюсов (см., например, рис. 3-17).

Контактные кольца роторов асинхронных двигателей трехфазного и однофазного тока должны обозначаться буквами присоединенных к ним выводов обмотки ротора; при этом расположение колец должно быть в порядке указанных букв, а кольцо Р1 должно быть наиболее удаленным от обмотки ротора.

в) Машины постоянного тока

Обозначения выводов машин постоянного тока по ГОСТ 183-55 приводятся в табл. 8-1.

Таблица 8-1

Обозначения выводов трехфазных машин и выводов обмоток возбуждения синхронных машин

Наименование и соединение обмоток	Число выводов	Названия выводов	Обозначения выводов	
			Начало	Конец
А. Обмотка статора (якоря)				
Открытая схема	6	Первая фаза	C1	C4
		Вторая фаза	C2	C5
		Третья фаза	C3	C6
Соединение звездой	3 или 4	Первая фаза	C1	
		Вторая фаза	C2	
		Третья фаза	C3	
		Нулевая точка	0	
Соединение треугольником	3	Первый зажим	C1	
		Второй зажим	C2	
		Третий зажим	C3	
Б. Обмотка возбуждения (индукторов) синхронных машин	2		И1	И2

Таблица 8-2

Обозначения выводов ротора асинхронного двигателя
(по ГОСТ 183-55)

Число выводов на контактных кольцах	Название выводов	Обозначения	
		Начало	Конец
3	Первая фаза	P1	
	Вторая фаза	P2	
	Третья фаза	P3	
4	Первая фаза	P1	
	Вторая фаза	P2	
	Третья фаза	P3	
	Нулевая точка	0	

Правильность обозначения выводов проверяют путем измерений сопротивлений обмоток и сверки их с расчетом, а также путем проверки полярности при холостом ходе в режиме двигателя.

При проверке правильности схемы с точки зрения соответствия полярности выводов и направления вращения полезно знать, что *при вращении по часовой стрелке (если смотреть со стороны коллектора) у неперекрещенной об-*

Таблица 8-3

Обозначения выводов обмотки машины однофазного тока (по ГОСТ 183-55)

Наименование обмоток	Число выводов	Обозначения	
		Начало	Конец
Обмотки статора (якоря) синхронных машин	2	С1	С2
Обмотки статоров асинхронных электродвигателей:			
а) главная обмотка	2	С1	С2
б) пусковая обмотка	2	П1	П2
Обмотка возбуждения индукторов синхронных машин	2	И1	И2

Таблица 8-4

Обозначения выводов обмоток машин постоянного тока

Выводы обмотки	Обозначения	
	Начало	Конец
Обмотки якоря	Я1	Я2
Компенсационная обмотка	К1	К2
Обмотка добавочных полюсов	Д1	Д2
Последовательная обмотка возбуждения	С1	С2
Параллельная обмотка возбуждения	Ш1	Ш2
Пусковая обмотка	П1	П2
Уравнительный провод и уравнительная обмотка	У1	У2
Обмотка особого назначения	01; 0,3	0,2; 0,4

1. При наличии в машине нескольких обмоток одного наименования их начала и концы, помимо буквенных обозначений, должны иметь цифровые обозначения: 1—2, 3—4, 5—6 и т. д.

2. Концы обмоток, соединяемые внутри электрической машины и не выведенные наружу, не обозначают.

3. Обозначение вывода должно быть выполнено так, чтобы при правом вращении в режиме электродвигателя ток во всех обмотках (за исключением размагничивающих обмоток на главных полюсах) протекал в направлении от начала 1 к концу 2.

4. Назначение обмотки, начало и конец которой обозначены 01 и 02, указывается заводом-изготовителем.

мотки (см. § 4-1) *положительные щеткодержатели* (+) будут против южного (S) полюса, а отрицательные (—) против северного (N).

Если обмотка перекрещенная или направление вращения против часовой стрелки, полярности соответственно меняются местами.

8-5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТРАНСФОРМАЦИИ

Определение коэффициента трансформации асинхронного двигателя с фазным ротором позволяет проверить правильность выполнения обмоток ротора и статора, отсутствие в них замыкания между витками. К статору подводится напряжение, и на разомкнутых кольцах неподвижного ротора в двух-трех положениях его измеряется напряжение. Для всех трех фаз ротора напряжение должно соответствовать паспортным данным двигателя. Пониженное напряжение в одной из фаз ротора указывает на межвитковое замыкание или неправильное соединение катушек фазы ротора [1]. Для проверки статорной обмотки опыт повторяют таким образом, что питание подводится к роторной обмотке, а на разомкнутой статорной измеряют напряжения. Для двигателей высокого напряжения этот опыт надо проводить с соблюдением всех правил техники безопасности. Напряжение, подведенное к ротору, должно допускать регулировку от нуля до 130% номинальной величины.

8-6. ОПЫТ ХОЛОСТОГО ХОДА

а) Асинхронные двигатели

Опыт холостого хода позволяет проверить ряд существенных для работы двигателя величин, кроме того, при этом опыте производится приработка подшипников. Ток холостого хода для двигателей мощностью 1—100 *квт* должен быть в пределах 80—40% номинального и приблизительно равен во всех фазах (отклонение не более ±5%). *Повышенный ток холостого хода* указывает на: а) увеличенный сверх номинального зазор; б) малое число витков в обмотке; в) аксиальное смещение ротора.

Различные значения тока холостого хода в фазах являются следствием неправильного выполнения обмоток фаз, неправильного их включения или эксцентрицитета ротора.

Повышенные потери холостого хода указывают на межвитковое замыкание, заусенцы или повреждение сердечников, повышенное трение в подшипниках. Измерение мощности холостого хода должно быть сделано только после

---

[1] Следует иметь в виду, что в некоторых типах асинхронных двигателей применялись двухфазные роторы, у которых одно из трех напряжений между кольцами больше в 1,4 раза, чем два других.

того, как температура подшипников установится и будет не выше допустимой (перегрев подшипников при холостом ходе должен быть порядка 20° С). Скольжение при холостом ходе должно быть не более 1—2%, т. е. число оборотов двигателя должно отличаться от синхронного числа оборотов, равного для сети частотой 50 *гц* величине $\frac{3000}{p}$, где p — число пар полюсов двигателя, не более чем на 1—2%.

б) Двигатели постоянного тока

Независимо от того, как должна работать машина, двигателем или генератором, опыт холостого хода производится в режиме работы двигателем. Машина последовательного возбуждения должна получить независимое возбуждение от источника питания низкого напряжения, рассчитанного на полный рабочий ток. Повышенный расход мощности при холостом ходе указывает на следующие ненормальности: 1) межвитковое замыкание в якоре; 2) повреждение сердечника якоря; 3) повышенные потери на трение. Последние являются следствием чрезмерного давления щеток на коллектор или следствием неприработанных подшипников. Установившаяся температура подшипников и коллектора должна быть зафиксирована, якорь должен быть проверен рукой на ощупь, на отсутствие местных нагревов. Опыт холостого хода преследует также цель приработки подшипников.

Машина должна вращаться с постепенным увеличением скорости вращения до номинальной до тех пор, пока не будет достигнута установившаяся температура подшипников.

Следует тщательно притереть и пришлифовать щетки, поставив их на нейтраль, предварительно убедившись в отсутствии искрения.

После этого следует сделать замеры мощности (тока и напряжения), потребляемой машиной при холостом ходе.

8-7. ИСПЫТАНИЕ НА ПОВЫШЕННУЮ СКОРОСТЬ ВРАЩЕНИЯ

Испытание на повышенную скорость вращения, позволяющее проверить качество бандажей, качество сборки коллектора и крепления обмотки производится в соответствии с ГОСТ 183-55 путем повышения скорости вращения на 20% сверх номинальной в течение 2 *мин* при холостом

ходе[1]. Оно обязательно лишь в тех случаях, когда ремонт касается вращающихся частей машины.

Для машин постоянного тока достаточное повышение числа оборотов достигается просто путем регулирования тока возбуждения машины, работающей в режиме двигателя при холостом ходе. Для асинхронных машин повышение скорости вращения может быть достигнуто либо путем увеличения частоты тока, питающего машину в режиме двигателя при холостом ходе, либо путем вращения машины посторонним двигателем.

8-8. ИСПЫТАНИЕ ИЗОЛЯЦИИ МЕЖДУ ВИТКАМИ ОБМОТКИ

Изоляцию между витками проверяют путем повышения напряжения на зажимах машины при холостом ходе на 30% сверх номинального в течение 5 *мин* (для асинхронных двигателей с фазным ротором это испытание проводят при разомкнутом роторе).

Испытание можно проводить как в двигательном, так и в генераторном режиме.

Для повышения напряжения на 30% допускается увеличение скорости вращения синхронных генераторов на 15% и повышение частоты сети, питающей испытуемый асинхронный двигатель, на 15%.

Для машин постоянного тока с числом полюсов больше четырех напряжение при испытании изоляции витков поднимается до величины (но не более 1,3 U), при которой напряжение между смежными коллекторными пластинами не превышает 24 *в*.

Для синхронных машин, у которых при номинальном токе возбуждения напряжение холостого хода превышает номинальное напряжение машины более чем на 30%, испытание производят при напряжении холостого хода, соответствующем номинальному току возбуждения.

Для возбудителей, рассчитанных на форсировку возбуждения, при которой напряжение возбудителя превосходит номинальное напряжение более чем на 30%, испытание производят при предельном напряжении форсировки в течение 1 *мин*.

---

[1] Исключение составляют гидрогенераторы, асинхронные двигатели, установленные на гидростанциях, и двигатели постоянного и переменного тока с последовательной обмоткой, для которых повышение скорости сверх номинальной принимается: для гидрогенераторов по ГОСТ 5616-50, для двигателей асинхронных и с последовательной обмоткой — на 50%.

Это испытание для вращающихся обмоток рекомендуется проводить после испытания на повышенную скорость вращения.

Испытание рекомендуется проводить во всех случаях ремонта, связанных с полной или частичной заменой обмоток.

8-9. ОПЫТ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

а) Асинхронные двигатели

Опыт короткого замыкания для асинхронного двигателя позволяет сделать проверку паек и соединений по нагреву. Кроме того, этот опыт позволяет проверить качество заливки короткозамкнутых роторов асинхронных двигателей. Если есть дефекты заливки (трещины, незалитые пазы), то при поворачивании ротора ток короткого замыкания статора будет менять свою величину.

Для проведения опыта необходим источник трехфазного напряжения с регулировкой в пределах от 0,1 $U_н$ до $U_н$, где $U_н$ — номинальное напряжение испытуемого двигателя. Двигатель включается на это напряжение через измерительную схему, позволяющую измерять токи по фазам, напряжение фаз и мощность, потребляемую двигателем. Ротор двигателя должен быть заторможен. Фазный ротор должен быть замкнут накоротко.

Регулировкой напряжения устанавливается ток короткого замыкания, равный номинальному. При поворачивании ротора проверяется, как изменяется статорный ток, и записываются наибольшая и наименьшая величины его, напряжение на обмотке двигателя, мощность, потребляемая двигателем.

После записи указанных данных следует выключить переменный ток и измерить сопротивление обмоток для того, чтобы знать, при какой температуре обмоток измерена мощность, потребляемая двигателем. Эти данные нужны для сравнения полученных результатов с результатами измерений при предыдущих ремонтах двигателя.

Неизменность данных опыта короткого замыкания, а также данных измерений при холостом ходе будет свидетельствовать о неизменных характеристиках двигателя.

Опыт короткого замыкания следует совместить с испытанием на перегрузку по току, которая согласно ГОСТ 183-55 для бесколлекторных машин переменного тока (асинхронных, синхронных) производится при токе 1,5 $I_н$, где $I_н$ — номинальный ток в течение 1 *мин* для

машин мощностью до 0,6 *квт* и 2 *мин* для машин мощностью выше 0,6 *квт**.

Во время испытания не должен иметь место значительный местный нагрев отдельных паек, соединений, контактов и т. д.

б) Машины постоянного тока

Опыт короткого замыкания для машин постоянного тока проводится в генераторном режиме. Он дает возможность проверить под током все цепи рабочего тока двигателя и отрегулировать коммутацию. Для приведения машины во вращение нужен двигатель мощностью около 0,2—0,3 от мощности испытуемой машины с передачей, обеспечивающей номинальную скорость вращения испытуемой машины. Для проведения испытания якорную цепь машины, включая добавочные полюсы и последовательную обмотку, замыкают вначале через небольшое сопротивление, порядка 2—3 $R_{як}$, (где $R_{як}$ — сопротивление якорной цепи), и пускают машину при отключенной обмотке возбуждения. Щетки должны быть предварительно притерты и установлены на нейтраль.

Если при разгоне машины будет обнаружен сильный рост тока (самовозбуждение), то следует выключить последовательную обмотку или перевернуть ее, добиваясь такого положения, чтобы при полном закорачивании цепи якоря или минимальной величине сопротивления на его зажимах можно было устойчиво регулировать ток якорной цепи путем регулирования незначительного тока возбуждения. В цепи якоря желательно иметь выключатель для разрыва цепи в случае возбуждения машины.

Подняв ток якорной цепи до номинальной величины, можно приступить к регулировке коммутации машины.

Регулировку производят методом подпитки током добавочных полюсов. При этом методе параллельно к обмотке добавочных полюсов включается регулируемый источник постоянного тока, позволяющий усиливать и ослаблять ток в обмотках добавочных полюсов. Наблюдая, при каком усилении и ослаблении появляется искрение для машин, имеющих безыскровую коммутацию, или усиливается искрение, если машина не имеет безыскровой коммутации, можно определить зону наилучшей коммутации

---

* Синхронные машины, кроме того, должны выдерживать ударный ток короткого замыкания. См. ГОСТ 183-55.

и среднее значение подпитки (усиление или ослабление), при которых машина имеет наилучшую коммутацию. В соответствии с найденным значением подпитки регулируется зазор под добавочным полюсом (т. е. если требуется усиление тока в обмотке добавочных полюсов, зазор уменьшается, и наоборот), а в редких случаях изменяется обмотка добавочных полюсов.

В условиях ремонта проведение опыта подпитки не всегда осуществимо, поэтому, если машина искрит не сильно (не выше степени $1^1/_2$) и проведены все мероприятия (см. § 6-1), то можно даже для машин с добавочными

Таблица 8-5

Шкала степеней искрения (классов коммутации) по ГОСТ 183-55

Степень искрения (класс коммутации)	Характеристика искрения	Состояние коллектора и щеток
1	Отсутствие искрения (темная коммутация)	Отсутствие почернения на коллекторе и нагара на щетках
$1^1/_4$	Слабое точечное искрение под небольшой частью щетки	Появление следов почернения на коллекторе, легко устраняемых протиранием поверхности коллектора бензином, а также следов нагара на щетках
	Слабое искрение под большей частью щетки	
2	Искрение под всем краем щетки Допускается только при кратковременных толчках нагрузки и перегрузки	Появление следов почернения на коллекторе, не устраняемых протиранием поверхности коллектора бензином, а также следов нагара на щетках
3	Значительное искрение под всем краем щетки с наличием крупных и вылетающих искр Допускается только для моментов прямого (без реостатных ступеней) включения или реверсирования машин, если при этом коллектор и щетки остаются в состоянии, пригодном для дальнейшей работы	Значительное почернение на коллекторе, не устраняемое протиранием поверхности коллектора бензином, а также подгар и разрушение щеток

полюсами попробовать незначительно сдвинуть траверсу[1] в обе стороны от нейтрали. При этом может быть найдено положение, улучшающее коммутацию.

Если же искрение сильное (степень 2 и более), несмотря на то, что выполнены все рекомендации, то следует прибегнуть к опыту подпитки.

Оценка коммутации проводится в соответствии с ГОСТ 183-55 по шкале степеней искрения (табл. 8-5).

Опыт короткого замыкания следует совместить с испытанием на перегрузку при токе, равном 1,5 $I_н$, в течение 60 *сек* (ГОСТ 183-55).

При этом испытании следует проверить все соединения, контакты, щеточную арматуру, доступные места паек в катушках, якоре и т. д. на отсутствие недопустимого местного перегрева.

8-10. ИСПЫТАНИЕ НА НАГРЕВАНИЕ

Описанные выше способы испытания в режиме холостого хода и короткого замыкания, требующие лишь части полной (номинальной) мощности для питания испытуемой машины, являются в большинстве случаев ремонта вполне достаточными, а для крупных машин единственно возможными.

Если, однако, в процессе ремонта или модернизации изменено сечение меди обмоток, число оборотов в минуту, условия вентиляции и т. д., то весьма желательна проверка нагрева машины.

Для этой цели должно быть проведено испытание машины под нагрузкой, требующее источник энергии достаточной мощности и такое оборудование испытательной станции, как нагрузочный генератор при испытании двигателей, приводной двигатель — при испытании генераторов, нагрузочные реостаты и установка, допускающая соединение испытуемой машины с приводным двигателем или нагрузочным генератором.

Наиболее целесообразна установка машины на гладко строганой плите с пазами, служащими для крепления.

Целью испытания на нагревание является, как указано выше, определение температуры нагрева обмоток машины при расчетной нагрузке. Потери в активной стали и меди

---

[1] Имеются в виду нереверсивные машины, т. е. вращающиеся только в одну сторону.

обмоток вызывают их нагревание. Развивающееся тепло должно быть отдано охлаждающему машину воздуху. Для того чтобы такая отдача тепла могла иметь место, необходимо, чтобы температура обмоток и стали была выше температуры окружающего воздуха, т. е. необходимо превышение температуры (перегрев) этих обмоток над охлаждающим машину воздухом (или в общем случае над температурой охлаждающей среды).

Потери в машине зависят от ее нагрузки (тока в обмотках и напряжения на зажимах), поэтому *превышение температуры* обмоток зависит от нагрузки машины, увеличиваясь с увеличением нагрузки, и является характерной величиной, ограничивающей мощность машины.

Температура обмотки является суммой превышения ее температуры и температуры окружающего воздуха. С точки зрения продолжительности жизни изоляции важна именно температура обмотки, поэтому с увеличением температуры окружающего воздуха допустимое превышение температуры снижается таким образом, чтобы температура обмотки оставалась постоянной.

Допустимая величина превышения температуры обмоток для различных классов изоляции при определенных температурах окружающего воздуха устанавливается ГОСТ 183-55, табл. 2-1 (тем самым устанавливается наибольшая температура обмоток). Таким образом, основной целью испытания на нагревание является определение превышения температуры обмоток.

Существует ряд методов измерения превышения температуры обмоток и деталей электрических машин над температурой охлаждающей среды (ГОСТ 183-55).

В условиях ремонтной практики следует рекомендовать в основном *метод сопротивления и метод термометра.*

Лишь в отдельных случаях, например, крупных машин, ответственных труднодоступных обмоток следует прибегнуть к термопарам или термометрам сопротивления, заложенным в испытуемую обмотку.

Метод сопротивления применим ко всем обмоткам, за исключением обмоток с весьма низким сопротивлением, измерение которого представляет известные трудности. Этот метод основывается на свойстве меди увеличивать свое сопротивление с увеличением температуры.

Опытным путем установлена следующая зависимость между температурой меди и ее сопротивлением. Если при температуре t_1[° С] сопротивление равно величине R_1[*ом*],

то при температуре t_2 сопротивление будет иметь величину R_2, причем отношение этих сопротивлений

$$\frac{R_2}{R_1}=\frac{t_2+235}{t_1+235}$$

Для алюминия действительна та же зависимость, но вместо 235 следует подставлять 245.

Превышение температуры t_2 над t_1 Δt для меди можно определить по следующей формуле:

$$\Delta t=t_2-t_1=\frac{R_2-R_1}{R_1}(235+t_1).$$

Считая, что t_1 и R_1 соответствуют холодной обмотке до начала испытания на нагревание, примем для этих величин обозначения t_x и R_x, а для величин t_2 и R_2, считая, что эти величины соответствуют горячей (нагретой) обмотке $t_г$ и $R_г$, получаем:

$$\Delta t=t_г-t_x=\frac{R_г-R_x}{R_x}(235+t_x).$$

В формулу необходимо ввести поправку, так как практический интерес представляет превышение температуры $\Delta t_а$ над температурой охлаждающего воздуха $t_а$, а не над температурой холодной обмотки t_x. Эти две температуры могут не совпадать в силу того, что измерение холодного сопротивления может производиться не в тот день, когда проводится тепловое испытание, температура охлаждающего воздуха может изменяться во время испытания и т. д.

Поэтому формула примет вид:

$$\Delta t_а=t_г-t_а=(t_г-t_x)+(t_x-t_а);$$

$$\Delta t_а=\frac{R_г-R_x}{R_x}(235+t_x)+(t_x-t_а).$$

Вторым способом контроля температур, который может быть рекомендован в практике ремонта, является способ **измерения температуры спиртовыми термометрами** (ртутные не допускаются). Температуру обмоток (за исключением низкоомных) следует стараться измерять методом сопротивления. Температуру подшипни-

ков, корпусов, окружающего воздуха, воздуха, входящего и выходящего из машины, коллекторов, колец, неизолированных обмоток низкого напряжения и т. д. следует измерять методом термометра или термопары.

Если нет возможности применить способ сопротивления, а лобовые части неподвижных обмоток и активная сталь доступны, то при известном опыте можно ограничиться измерением температуры поверхности доступной части обмоток и активной стали. Следует иметь в виду, что измеренная термометром температура поверхности обмотки будет на 15—20° С ниже, чем средняя температура меди, измеренная способом сопротивления.

Для того чтобы избежать значительных ошибок при измерении температуры термометром, следует обеспечить плотное соприкосновение головки термометра и детали машины, температура которой нас интересует. Для этой цели головку термометра следует обернуть фольгой. Кроме того, головка термометра должна быть сверху закрыта теплоизолирующим материалом (ватой и т. п.), предохраняющим ее от охлаждения струей вентилирующего машину воздуха. Для измерения температуры окружающего воздуха головку термометра следует опустить в металлический стаканчик, наполненный маслом.

При испытании закрытых машин температуру охлаждающего воздуха измеряют двумя-тремя термометрами, установленными на высоте, равной половине высоты машины на расстоянии 1—2 *м* от нее. Термометры должны быть защищены от облучения теплом и от воздействия потоков воздуха.

За температуру охлаждающего воздуха принимается средняя температура (измеренная термометрами за последний час испытания), измерения обычно берутся через 20—30 *мин*.

Для машин, охлаждаемых посредством протяжной вентиляции, за температуру охлаждающего воздуха принимается температура воздуха в месте входа в машину. Вблизи этого места и должен быть установлен термометр.

Испытание машин, предназначенных для длительного режима работы, ведут до тех пор, пока превышения температур всех частей машины не установятся. О достижении такого состояния можно судить по неизменности разности между показаниями термометра на корпусе и термометра, измеряющего температуру охлаждающего воздуха. То же относится к превышению температуры выходящего возду-

ха. Превышение температуры считается установившимся, если оно изменяется не более чем на 1° за 1 *ч*.

По достижении установившегося теплового состояния должны быть измерены температуры всех обмоток и деталей, измерения температуры и сопротивления которых возможны без остановки машины, к числу которых относятся обмотки возбуждения и добавочных полюсов машин постоянного тока.

Измерения температур всех остальных обмоток и деталей должны быть сделаны немедленно после остановки машины, причем должны быть приняты меры для быстрой остановки последней, например усиление возбуждения и закорачивание нагрузочного генератора при остановке испытуемых двигателей и механическое двустороннее торможение шкивов (чтобы не погнуть вал и не повредить подшипники).

Если вентиляция принудительная, т. е. от постороннего вентилятора, то она должна быть выключена одновременно с выключением тока. Для того чтобы результаты измерений не требовали поправок, необходимо при измерении способом сопротивления взять первый отсчет не позже чем через 1—2 *мин* после выключения нагрузки и затем в течение 10 *мин* еще три-четыре отсчета.

При измерении сопротивления якоря машины постоянного тока следует поднять все щетки с коллектора и поставить щупы на отмеченные легко доступные пластины, на которых производилось измерение холодного сопротивления. Якорь следует затормозить, чтобы предупредить соскакивание щупов.

Измерение сопротивления статора асинхронного двигателя должно быть сделано после остановки двигателя теми же приборами и тем же способом, каким производилось измерение холодного сопротивления.

В течение около 15 *мин* следует наблюдать за термометрами, заложенными на коллекторе, кольцах, стали якоря и подобных деталях, ставших доступными лишь после остановки машины, и записать наибольшую температуру и время (считая от момента выключения тока), когда она отмечена.

Для получения наиболее точных результатов в тех случаях, когда превышения температур близки к допустимым, стоят кривые остывания, т. е. зависимость сопротивления или температуры от времени, протекшего с момента выключения нагрузки (тока).

Продолжая эту кривую на начало отсчета времени, получают температуру (сопротивление) обмотки в момент выключения нагрузки.

Для проведения испытаний двигателей переменного тока необходим *индукционный регулятор*, который может быть переделан из асинхронного двигателя с фазным ротором. Желательно для этой цели подобрать такой двигатель, у которого напряжение ротора близко к напряжению сети.

В этом случае можно получить регулирование напряжения почти от нуля до двойного напряжения сети.

Схема индукционного регулятора приведена на рис. 8-2. Если обмотка ротора имеет напряжение на кольцах, равное напряжению сети (или несколько выше), что определяется в опыте трансформации при номинальном напряжении на статоре, то в схеме рис. 8-3 обмотка *1* является обмоткой ротора. Если же напряжение обмотки ротора ниже напряжения сети, то в качестве обмотки *1* (намагничивающей) следует применить обмотку статора, соединенную в звезду или треугольник в зависимости от напряжения сети, а в качестве обмотки *2* (проходной)—обмотку ротора, у которой разрезана нулевая точка (звезда) и выведены шесть концов. На конец вала ротора индукционного регулятора надевается червячное колесо, которое можно поворачивать червяком. Поворотом ротора и осуществляется регулировка напряжения в пределах от $U_{сети} - U_2$ до $U_{сети} + U_2$, где U_2—линейное напряжение на обмотке *2*.

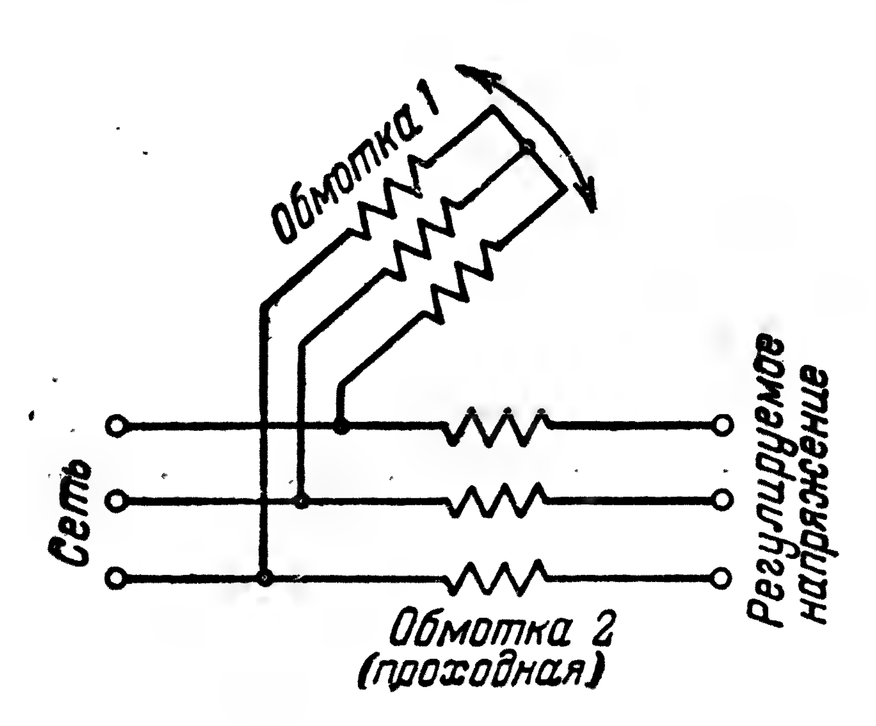


Рис. 8-2. Схема индукционного регулятора.

Следует иметь в виду, что, поскольку асинхронный двигатель, использованный как индукционный регулятор, не вращается и не вентилируется, допустимый ток его обмоток будет в 2—2,5 раза ниже номинального тока обмоток асинхронного двигателя, из которого он сделан.

Для повышения мощности можно применить обдув от постороннего вентилятора.

Для испытания обмоток на отсутствие замыканий между витками необходим генератор переменного тока с частотой 500—1 000 *гц*. Такой генератор (с частотой 500 *гц*) может быть изготовлен силами ремонтного цеха. Для этой цели используется асинхронный двигатель с фазным ротором. На статоре и роторе двигателя выполняются 18-полюсные обмотки. Число витков обмоток подбирается так, чтобы к ротору двигателя можно было приложить трехфазное напряжение сети. При неподвижном роторе на статоре должно индуцироваться напряжение, равное $^1/_{10}$ от потребного для питания маг-

нитного башмака (ярма). Если теперь начать вращать ротор каким-либо асинхронным двигателем с числом оборотов 3 000 в минуту в ту же сторону, куда вращается поле ротора, то на статоре получим необходимое напряжение с частотой 500 *гц*.

8-11. ИСПЫТАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ ИЗОЛЯЦИИ

Испытание электрической прочности изоляции (на пробой) производится путем приложения к этой изоляции на 1 *мин* напряжения переменного тока 50 *гц* практически синусоидальной формы. Величина этого испытательного напряжения указана в табл. 8-6.

Подъем и снижение испытательного напряжения должны быть плавными[1] и начинаться с напряжения не более 1/3 испытательного. Испытанию изоляции от корпуса подвергается поочередно каждая электрическая независимая цепь, при этом один полюс источника испытательного напряжения прикладывается к выводу испытуемой обмотки, а другой — к заземленному корпусу машины, с которым на время испытания данной обмотки электрически соединяются все прочие (не участвующие в испытании) обмотки.

Соединенные между собой многофазные обмотки считаются за одну цепь, если начало и конец каждой фазы не выведены к специальным зажимам. В этом случае вся многофазная обмотка испытывается от корпуса целиком. При наличии выводов начала и конца каждой фазы испытание от корпуса делается поочередно для каждой фазы при присоединенных к корпусу прочих фазах.

Если одна из обмоток машины при номинальном режиме работы связана с корпусом машины, то на время испытания электрической прочности изоляции такой обмотки она должна быть отсоединена от корпуса машины.

Если при ремонте произведена полная замена какой-либо обмотки на новую, то эту обмотку испытывают на полное пробивное напряжение для вновь изготовленной машины в соответствии с ГОСТ 183-55.

Если при ремонте заменена лишь часть обмотки, а часть обмотки осталась старая, бывшая в эксплуатации, то электрическую прочность всей обмотки испытывают напряжением, равным 1,3 номинального напряжения машины, но

[1] Подробнее см. ГОСТ 183-55.

Таблица 8-6

Испытательное напряжение при испытании электрической прочности изоляции обмоток относительно корпуса машины и между обмотками (по ГОСТ 183-55)

Электрическая машина или ее части	Испытательное напряжение (действующее значение)
Машины мощностью не менее 1 *квт* (или 1 *ква*), а также все машины на номинальное напряжение не свыше 36 *в*	500 *в* плюс двукратное номинальное напряжение
Машины мощностью от 1 *квт* (или 1 *ква*) до 3 *квт* (или 3 *ква*) включительно при номинальном напряжении выше 36 *в*	1 000 *в* плюс двукратное номинальное напряжение
а) машины мощностью более 3 *квт* (или 3 *ква*), за исключением перечисленных в п. 3,б настоящей таблицы, при номинальном напряжении свыше 36 *в*.	1 000 *в* плюс двукратное номинальное напряжение, но не менее 1 500 *в*
б) Машины мощностью от 1 000 *квт* (или 1 000 *ква*) и выше на номинальное напряжение:	
до 3 300 *в* включительно	1 000 *в* плюс двукратное номинальное напряжение
свыше 3 300 до 6 600 *в* включительно	2,5-кратное номинальное напряжение
свыше 6 600 *в*	3 000 *в* плюс двукратное номинальное напряжение
Обмотки возбуждения синхронных генераторов, у которых номинальное напряжение возбудительной системы не превышает 800 *в*	Десятикратное номинальное напряжение возбудительной системы, но не менее 1 500 *в* и не более 3 500 *в*
Обмотки возбуждения синхронных двигателей и синхронных компенсаторов:	
а) если машина предназначена для непосредственного пуска со стороны переменного тока с обмоткой возбуждения, замкнутой на сопротивление или на источник своего питания	Десятикратное номинальное напряжение возбудительной системы, но не менее 1 500 *в*
б) то же, но предназначенная для пуска с разомкнутой обмоткой возбуждения, подразделенной на секции	1 000 *в* плюс десятикратное номинальное напряжение возбудительной системы, но не менее 1 500 *в*
в) то же, но предназначенная для пуска с разомкнутой обмоткой возбуждения, не секционированной	1 000 *в* плюс 20-кратное номинальное напряжение возбудительной системы, но не менее 1 500 *в* и не более 8 000 *в*
г) синхронные двигатели и синхронные компенсаторы, пускаемые специальными пусковыми двигателями	Десятикратное номинальное напряжение возбудительной системы, но не менее 1 500 *в*

Электрическая машина или ее части	Испытательное напряжение (действующее значение)
Возбудители для электрических машин	
а) возбудители для электрических машин, кроме синхронных	1 000 *в* плюс двукратное номинальное напряжение, но не менее 1 500 *в*
б) возбудители для синхронных генераторов, у которых номинальное напряжение возбудительной системы не превышает 800 *в*	Десятикратное номинальное напряжение, но не менее 1 500 *в* и не более 3 500 *в*
в) возбудители для синхронных двигателей и синхронных компенсаторов	Десятикратное номинальное напряжение, но не менее 1 500 *в*
Вторичные обмотки асинхронных двигателей, не находящиеся в непрерывном короткозамкнутом состоянии:	
а) для двигателей, допускающих торможение противовключением	1 000 *в* плюс четырехкратное номинальное напряжение вторичной обмотки
б) для двигателей, не предназначенных для торможения противовключением	1 000 *в* плюс двукратное номинальное напряжение вторичной обмотки
Собранные в группы электрические машины и аппараты	Если испытанию подвергается группа, собранная из нескольких новых, только что установленных и соединенных вместе электрических машин и аппаратов, из которых каждая машина и каждый аппарат проходили испытания электрической прочности, то испытательное напряжение не должно превышать 85% испытательного напряжения той машины (или того аппарата), у которой это напряжение наименьшее

не меньше 0,5 испытательного напряжения, указанного в табл. 8-5.

Поверочные испытания электрической прочности изоляции после доставки машины на место сборки и сушки производятся в течение 1 *мин* напряжением, равным 75% напряжения, указанного в таблице.

8-12. ИСПЫТАНИЕ ДЕТАЛЕЙ

Детали электрической машины — секции обмотки, катушки, коллекторы, якоря, роторы, статоры, остовы с катушками полюсов и т. д. — в процессе изготовления и сборки должны проходить испытания электрической прочности изоляции, причем каждое последующее испытание проводится с понижением пробивного напряжения с тем, чтобы последнее испытание собранной машины соответствовало ГОСТ 183-55. Такая система предупреждает брак на последних технологических операциях.

Секции «всыпной» обмотки статоров, роторов и якорей испытывают на замыкание между витками и на пробой корпусной изоляции:

1) после укладки в пазы;

2) после пайки концов к коллектору или соединения секций обмотки по схеме;

3) после полного окончания статора, ротора или якоря.

Первое из этих испытаний для машин с напряжением до 500 *в* проводят испытательным напряжением, бо́льшим, чем напряжения, указанные в табл. 8-5, на 500—1 000 *в* (500 *в* для машин с мощностью, меньшей 1 *квт*).

Последующие испытания проводят с равномерным снижением испытательного напряжения с таким расчетом, чтобы последнее испытание — «испытание собранной машины» — соответствовало табл. 8-5.

Формованные (шаблонные) секции катушки, стержни, кроме испытаний, указанных выше, проходят первое испытание до укладки в пазы. Для этого части изоляции, которые будут после укладки соприкасаться со сталью и другими обмотками, обматывают фольгой. Испытательное напряжение[1] для роторных стержней асинхронных двигателей устанавливается на 1 500—2 000 *в* выше указанных в табл. 8-5.

Коллекторы испытывают на замыкание между пластинами и на пробой изоляции относительно корпуса:

а) после сборки коллектора;

б) после насадки коллектора на вал.

Величину испытательного напряжения см. табл. 6-3 и 6-4.

Якорь, ротор, статор и остов с катушками испытывают до сборки машины на пробой изоляции и правильность соединения обмоток.

---

[1] Более подробно эти вопросы см. [Л. 1, 13, 14].

8-13. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НОМИНАЛЬНЫХ ДАННЫХ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

В практике ремонта могут встречаться случаи, когда щиток с номинальными данными асинхронного двигателя утерян или поврежден.

В этом случае для определения номинального напряжения следует при холостом ходе двигателя, после того как подшипники достигнут установившейся температуры, снять кривую зависимости тока холостого хода $I_{x.x}$ от напряжения U. Эта характеристика имеет вид, изображенный на рис. 8-3.

Вначале ток холостого хода пропорционален напряжению (участок *а—б*), далее, вследствие того что активная сталь постепенно насыщается, рост тока убыстряется (отрезок *б—в* кривой рис. 8-3).

При больших насыщениях даже незначительное увеличение напряжения вызывает сильный рост тока (прямолинейный участок *в—г* кривой рис. 8-3).

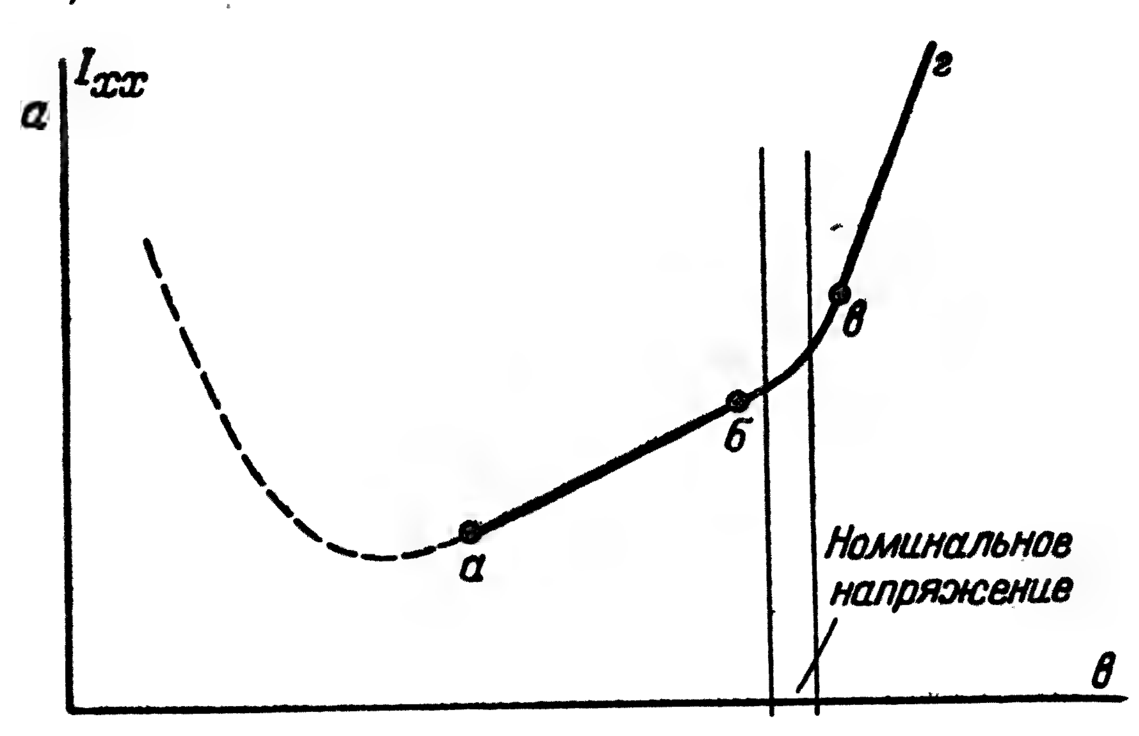


Рис. 8-3. Характеристика холостого хода асинхронного двигателя.

Номинальным напряжением следует считать такое напряжение (127, 220, 380, 500 *в*), при котором ток холостого хода находится на участке *б—в* кривой рис. 8-3.

При этом испытании тахометром легко устанавливается асинхронное число оборотов двигателя.

Мощность двигателя можно ориентировочно установить измерением сопротивления фазы статора.

Падение напряжения в фазе обмотки статора $I_ф R_ф$ составляет определенную часть от напряжения фазы $U_ф$, ограничиваемую потерями в обмотке и нагревом ее:

$$I_ф R_ф = kU_ф$$

(при соединении в треугольник $U_ф = U_л$, где $U_л$ — напряжение питающей линии; при соединении звездой $U_ф = \frac{U_л}{1,73}$).

Отсюда ток в фазе $I_ф = k\frac{U_ф}{R_ф}$.

Величина k может быть взята из табл. 8-7 в зависимости от порядка мощности двигателя, которая всегда может быть определена на глаз.

Таблица 8-7

Коэффициент полезного действия и коэффициент мощности асинхронных двигателей

Мощность, *квт*	k	$\cos\varphi$	η	$\cos\varphi\cdot\eta$
0,1	0,11	0,70	0,70	0,50
1	0,06	0,77	0,75	0,57
7,5	0,04	0,85	0,82	0,70
25	0,03	0,88	0,85	0,75
100	0,02	0,90	0,88	0,79

По определенному таким образом току может быть определена мощность двигателя P:

$$P = 3U_{ф} I_{ф} \cos\varphi\cdot\eta,$$

где η — к. п. д.

φ — коэффициент мощности.

Произведение $\cos\varphi\cdot\eta$ может быть взято из табл. 8-7.

Полученная по формуле мощность должна быть проверена путем проведения теплового режима.

ТАБЛИЦА ДЛЯ СОСТАВЛЕНИЯ СХЕМ РОТОРНЫХ ОБМОТОК

Число полюсов	Число пазов	Число пазов на полюс и фазу	Шаги			Начала фаз (верхние стержни)			Концы фаз (верхние стержни)			Начала промежуточных соединений			Концы промежуточных соединений		
			Y_{1n}	Y_{2n}	$Y_{ук}$	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	M_1	M_2	M_3	M_4	M_5	M_6
						Номера пазов											
4	48	4	1—13	1—13	1—12	1	17	33	13	29	45	34	2	18	46	14	30
4	54	4,5	1—14	1—15	1—14	1	19	37	14	32	50	37	1	2	19	51	33
4	72	6	1—19	1—19	1—18	1	25	49	19	43	67	50	2	68	68	20	44
6	53	3	1—10	1—10	1—9	1	13	43	10	22	52	44	2	32	53	11	41
6	63	3,5	1—11	1—12	1—11	1	15	50	11	25	60	50	1	36	61	12	47
6	72	4	1—13	1—13	1—12	1	17	57	13	29	69	58	2	42	70	14	54
6	90	5	1—16	1—16	1—15	1	21	71	16	36	86	72	2	52	87	17	67
8	72	3	1—10	1—10	1—9	1	25	49	10	34	58	62	14	38	71	23	47
8	84	3,5	1—11	1—12	1—11	1	29	57	11	39	67	71	15	43	82	26	64
8	96	4	1—13	1—13	1—12	1	33	65	13	45	77	82	18	50	94	30	62
10	75	2,5	1—8	1—9	1—8	1	36	51	8	33	58	66	16	41	74	24	49
10	105	3,5	1—11	1—12	1—11	1	36	71	11	46	81	92	22	57	103	33	68
10	120	4	1—13	1—13	1—12	1	41	81	13	53	93	106	26	66	118	38	78
72	72	2	1—7	1—7	1—6	1	21	53	7	27	59	66	14	46	72	20	52
12	90	2,5	1—8	1—9	1—8	1	26	66	8	33	73	81	16	56	89	24	64
12	126	3,5	1—11	1—12	1—11	1	36	92	11	46	102	113	22	78	124	33	89
12	144	3	1—13	1—13	1—12	1	41	105	13	53	117	130	26	90	142	38	102
16	144	4	1—10	1—10	1—9	1	49	97	10	58	106	134	38	86	143	47	95
16	192	4	1—13	1—13	1—12	1	65	129	13	77	141	178	50	114	190	62	126

Примечание. Y_{1n}—шаг нормальный с задней стороны (рис. 4-4).
Y_{2n}—то же с передней.
$Y_{ук}$—то же укороченный при переводе.
„Соединительные дуги" соединяют точки: M_1—M_4; M_2—M_5; M_3—M_6.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

СЕЧЕНИЯ ВЫВОДНЫХ ПРОВОДОВ ОБМОТОК ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

Сечение медных выводных проводов, *мм²*	Типы электромашин и нагрузка, *а*				Сечение медных проводов, *мм²*	Типы электромашин и нагрузка, *а*			
	Продолжительная нагрузка		Кратковременная нагрузка			Продолжительная нагрузка		Кратковременная нагрузка	
	открытые вентилируемые	закрытые невентилируемые	открытые вентилируемые	закрытые невентилируемые		открытые вентилируемые	закрытые невентилируемые	открытые вентилируемые	закрытые невентилируемые
2,5	26	23	39	30	35	200	175	430	350
4	40	33	60	46	50	255	220	580	470
6	58	47	87	58	70	310	270	760	620
10	84	67	140	110	95	370	315	960	790
16	120	100	220	170	120	420	360	1 150	940
25	160	140	320	255					

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

РАЗМЕР ПРОВОДОВ ОБМОТОК МАШИН ПОСТОЯННОГО ТОКА СЕРИИ ПН[1] (220 *в*)

Тип	Мощность, *квт*	Якорь			Главные полюса				Добавочные полюса	
		Размер меди (голой), *мм*	Число витков	Число пластин	Размер меди (голой), *мм*	Число витков	Размер меди (голой), *мм*	Число витков	Размер меди (голой), *мм*	Число витков
ПН52	0,52	0,55 ПЭЛБО	17	56	0,27 ПЭВ (ПЭЛ)	4 200	1,25 ПЭЛБО	24	1,08 ПЭЛБО	340
ПН10	1,0	0,93 ПЭЛБО	10—11	72	0,33 ПЭВ	4 200	1,45 ПЭЛБО	19	1,68 ПБД	265
ПН68	6,5	1,45 ПЭЛБО	8	93	0,55 ПЭВ	2 200	1,81×1,69 ПБД	6	1,5×6,9 ПБД	60
ПН145	21	1,68×6,9 ПБД	2	10	0,74 ПЭВ	1 700	2,44×12,5	4	1,35—25	33,5
ПН550	60	1,95×8,6 ПБД	1	125	1,35 ПЭЛБО	1 120	—	—	2,26×35 ПБД	25,5

[1] По данным книги Постникова „Проектирование электрических машин", Гостехиздат УССР, 1952.

РАЗМЕРЫ ПРОВОДОВ СТАТОРНОЙ ОБМОТКИ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

I. Единая серия, тип А

Габарит*; мощность, *квт* Размер меди (голой)**, *мм* Вес меди, *кг*; марка	31/2; 1 0,9 0,62 0,55 1,55 ПЭЛБО	41/2; 2,8 1,0^{2} 1,12 0,96 3; ПЭЛБО	51/2; 7: 1,25^{4} 1,4^{2} 1,4^{2} 7,6; ПЭЛБО	61/2; 14 — 1,4^{3} 1,56^{4} 12,5; ПЭЛБО	71/2; 28 — 1,4^{3,1} 1,45^{2,1} 17,0; ПЭЛБО	81/2; 55 — 1,81^{4,1} 1,81^{3,1} 36; ПЭЛБО (ПБД)	91/2; 100 — 1,887^{1} 1,68^{7,1} 56; ПЭЛБО (ПБД)
Габарит; мощность, *квт* Размер меди (голой)**, *мм* Вес меди, *кг*; марка	32/4; 1 1,0 0,74 0,62 1,8; ПЭЛБО	42/4; 2,8 0,9^{3} 0,83^{2} 1,04 3,6; ПЭЛБО	52,4; 7 1,3^{2,1} 1,4^{2} 1,2^{2} 7,8; ПЭЛБО	62/4; 14 — 1,62^{2} 1,4^{2} 8,3; ПЭЛБО	72/4; 28 — 1,62^{2,1} 1,585^{2,1} 13,4; ПЭЛБО	82/4— — 1,45^{3,6} 1,56^{4,1} 28; ПЭЛБО	92/4; 100 — 1,68^{4,6} 1,68^{3,6} 49; ПЭЛБО

II. Серия „Урал“ (завод имени Калинина)

Габарит*; мощность, *квт* Размер меди (голой)**, *мм* Вес меди, *кг*; марка	21-6; 05 0,74/0,57/0,62 1,5; ПЭЛБО	21-4; 1,6 0,96/0,72/0,62 1,8; ПЭЛБО	31-4; 2,55 1,12/0,86/0,74 2,2; ПЭЛБО	32-4; 3,4 1,4/1,08/0,96 3,4; ПЭЛБО	42-4; 5,8 1,62/1,26/1,08 3,9 ПЭЛБО	51-4; 8 1,35^{1}/1,5/1,8 6,6; ПЭЛБО

Серия „Урал“ (завод имени Калинина) (продолжение) / III. Серия АД (завод „Электросила“ имени Кирова)

Габарит*; мощность, *квт* Размер меди (голой)** *мм* Вес меди, *кг*; марка	52-4; 10 1,74^{2}/1,35^{1}/1,16^{2} 6,6; ПЭЛБО	53-4; 12 1,95^{2}/1,5^{2}/1,3^{2} 7; ПЭЛБО	21-4; 1 0,93/0,67/0,58 1,63; ПЭЛБО	31-4; 2,2 0,88^{2}/0,96/0,8 2,3; ПЭЛБО	42-4; 5,8 1,32/1,4/1,25 3,7; ПЭЛБО	51-4; 7,8 1,56^{1}/1,2^{2}/1,451 4,6; ПЭЛБО ПВД (1,56)

Серия АД (завод „Электросила“ имени Кирова)

Габарит*, мощность, *квт* Размер меди (голой)**, *мм* Вес меди, *кг*; марка	61-2; 16 1,61$^{1\ 4}$/1,45$^{1\ 3}$/1,68^{2} 8,4; ПБД	72-2; 35 1,6$^{1\ 4}$/1,45$^{1\ 3}$/1,68^{2}	82-2; 60 1,81$^{1\ 3}$/1,56$^{1\ 3}$ 18,3; ПБД	91-2; 80 3,28×1,35$^{1\ 4}$ 3,28×1,56$^{1\ 2}$ 3,28×1,35^{1} 28; ПБД	101-2; 115 3,53×1,81$^{1\ 4}$ 3,53×2,1$^{1\ 2}$ 3,53×1,68$^{1\ 2}$ 36,5; ПБД

	IV. Серия $БАО_2$ (завод „Электросила“)			V. Серия Н (завод „Электросила“)			
Габарит*; мощность, *квт*	31-8; 2,3	32,6; 5	41-4; 10	52-4; 29	10 6; 0,1	10-4; 0,25	11-4; 0,52
Размер меди (голой)**, *мм*	1,25[2]	1,75[2]	1,25[4]	1,56	0,44	0,55	0,74
	1,35	1,35[2]	1,35[4]	1,25	0,3	0,41	0,55
	1,16	1,16[2]	1,16[4]	1,35	—	0,35	0,47
Вес меди, *кг*; марка	6,8; ПЭЛБО	9,3 ПЭЛБО	15,6; ПЭЛБО	24; ПЭЛБО	1; ПЭЛБО	1,11; ПЭЛБО	1,43; ПЭЛБО

V. Серия МА (ХЭМЗ)

Габарит*; мощность, *квт*	142-1/8; 2,7	143-1/8; 5.8	142-1/4; 5,5	201-1/6; 5,7	142-2/4; 8,0	143-1/6; 8,0	201-1/4; 8.0
Размер меди (голой)**, *мм*	1,95	1,56[3]	1,68[2]	1,35[2]	2,1[2]	1,83[3]	1,45[2]
	1,45	1,45[2]	1,81	1,45	1,56[2]	1,68[2]	1,56
	1,25	1,81	1,56	1,25	1,95	1,45	1,35
Вес меди, *кг*, марка	6,6; ПБД	10.4; ПБД	6,8; ПБД	4,5; ПБД	8,7; ПБД	11,6; ПБД	4,3; ПБД

	Серия МА (ХЭМЗ)							VII. Серия Т
Габарит*, мощность, *квт*	141-1/4; 21,5	П4-1/4; 22,5	203-1/4; 2,2	145-1/4; 40	205-1/16; 40	147/2,8; 85	206-1/4; 85	147-2/4; 148	40 *квт*, 1 500 *об/мин*
Размер меди (голой)**, *мм*	1,95[1,3]	6,4×2,44[2]	1,62[1,2]	—	—	—	—	—	3,53
	1,81[1,2]	6,4×3,28	1,81	5,9×1,25[1]	2,83×2,1[2]	4,7×3,53[1]	3,28×1,45[1]	6,4×2,26[1,2]	3,05
	1,81[3]	6.4×2,44	1,56	5,9×2,26	2,83×1,56[2]	4,7×2,63[1]	3,28×2,44[2]	6,4×3,28[1]	3,83
Вес меди, *кг*; марка	16,8;	39; ПБД	8,1; ПСД	25,2; ПБД	21,2; ПСД	40; ПБД	26,1; ПСД	50; ПБД	28; ПБД

	VIII. Серия МКБ (ЯЭМЗ)		IX. Серия МКА (с фазным ротором), ЯЭМЗ					
Габарит*; мощность, *квт*	13-4; 1,8	15-4; 3,0	13; 2,5 статор	ротор	20-6; 15 статор	ротор	21-6; 44 статор	ротор
Размер провода (голой), *мм*	1,56	1,88	1,68	—	1,68[1,2]	—	2,1[1,4]	—
	1,2	1,4	1,25	2,63×3,28	1,81[2]	3,05×3,53	1,88[1,2]	4,4×2,83
	1,04	1,25	1,08	—	1,62	—	1,62[5,2]	—
Вес меди, *кг*; марка	3,6; ПБД	4,3; ПБД	5,2; ПБД	3,7; ПБД	10; ПБД	7,9; ПБД	6; ПБД	18,1; ПБД

* Последняя цифра обозначения габарита соответствует числу полюсов 2—3 000 *об/мин* (синхронных), 4—1 500 *об/мин*, 6—1 000 *об/мин*, 8—750 *об/мин*.

** Три размера проводов соответствуют исполнению на 127/220, 220/380 и 500 *в*.

[1] Соединение катушек в 2 параллельные ветви. [2] 2 проводника в параллель.

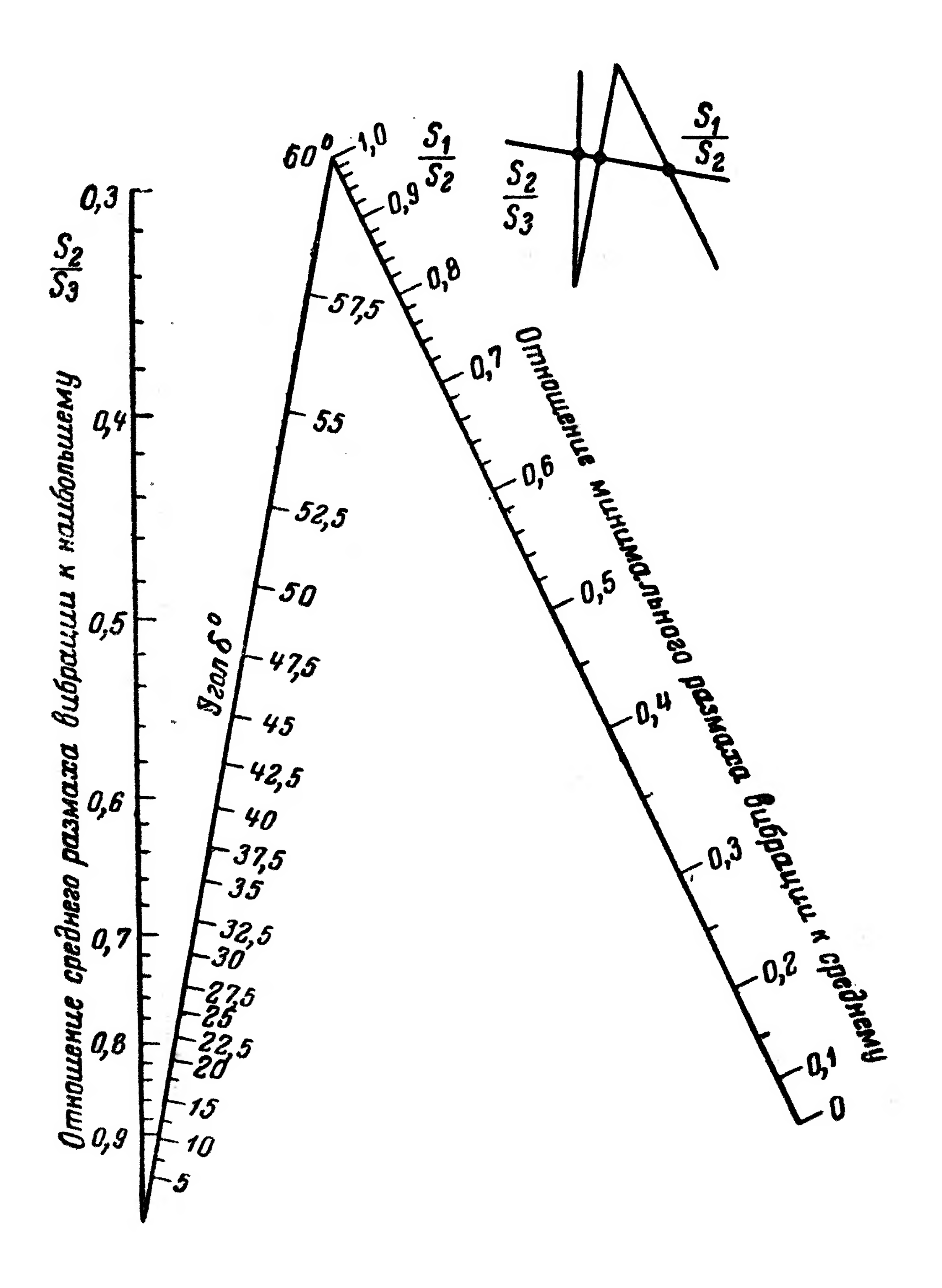
[5] » » в 3 » » [3] 3 » » »

[6] » » в 4 » » [4] 4 » » »

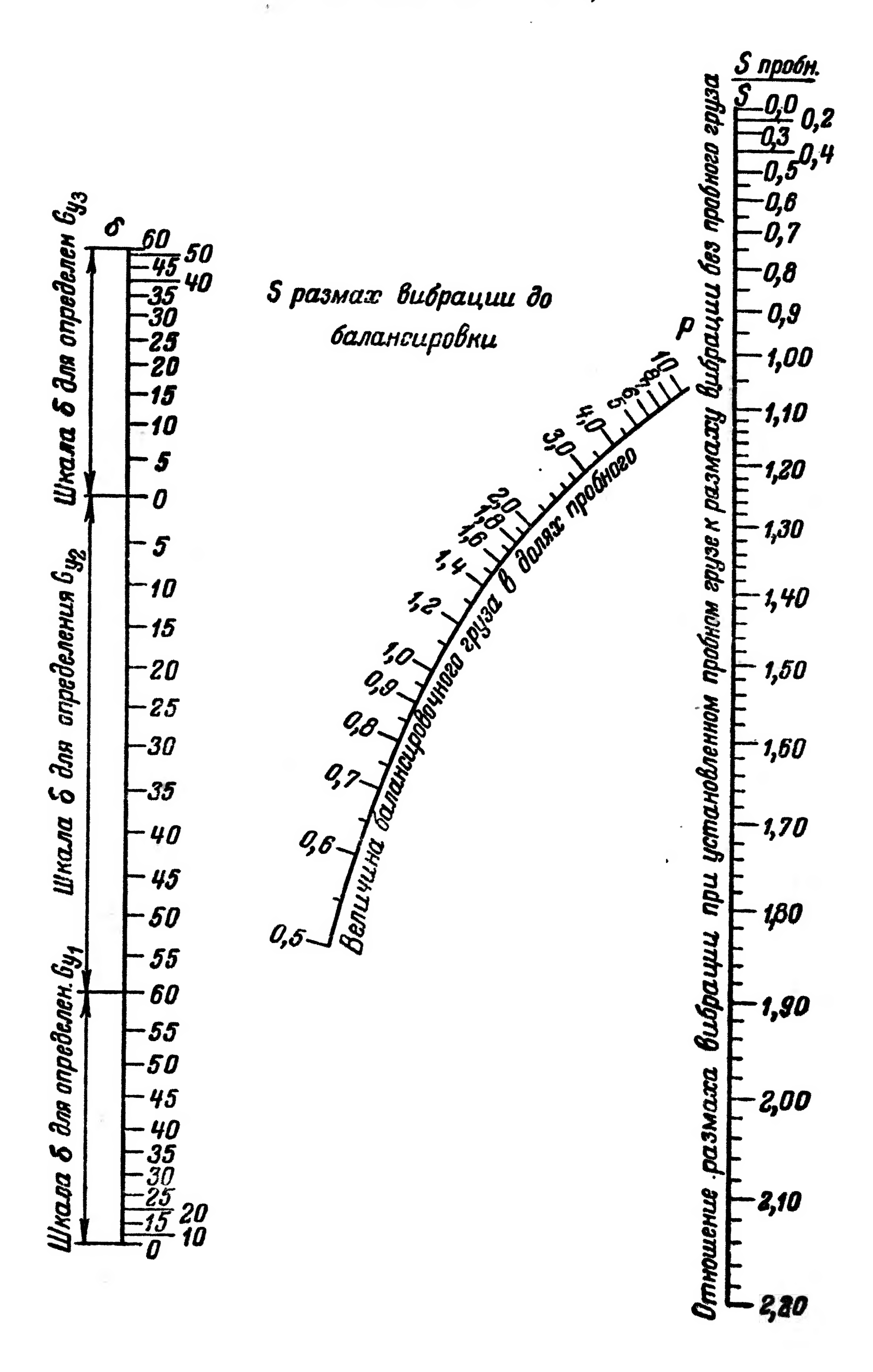
[7] 7 » » »

Подробнее см. книгу Мещерякова и Ченцова „Пересчет электрических машин“, Госэнергоиздат, 1950.

НОМОГРАММА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УГЛА δ



НОМОГРАММА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕЛИЧИНЫ БАЛАНСИРОВОЧНОГО ГРУЗА (УГОЛ δ ОПРЕДЕЛЯЕТСЯ ПО ПРИЛОЖЕНИЮ 5).



РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. В. И. Калитвянский, Изоляция электрических машин, ГЭИ, 1949.

2. Ф. Т. Сухоруков, Технология обмоточно-изоляционного производства, ГЭИ, 1951.

3. В. И. Зимин и др., Обмотки электрических машин, ГЭИ, 1950.

4. Э. Д. Кравчик, Расчет обмоток низковольтных асинхронных двигателей при ремонте, ЦБТИ МЭП, 1936.

5. В. И. Луцык, Ремонт электродвигателей и генераторов, Машгиз, 1951.

6. С. К. Андриевский и М. Н. Шапиро, Ремонт электрических машин и пускорегулирующей аппаратуры, Гостехиздат, УССР, 1952.

7. В. Г. Галитовский, Реставрация обмоточных проводов, Металлургиздат, 1954.

8. Н. В. Колесник, Устранение вибрации машин, Машгиз, 1952.

9. Информационно-технические сборники Центрального бюро технической информации электропромышленности.

10. Е. Л. Гинцбург, Ремонт подшипников электрических машин, Госэнергоиздат, 1953.

11. Руководящие указания по сварке чугуна, ОРГРЭС НКЭС, Госэнергоиздат, 1943.

12. В. В. Ефремов, Ремонт автомобилей, ч. 1, Автотрансиздат, 1954.

13. С. Е. Баннов, Ремонт электрооборудования металлургических заводов, Государственное издательство литературы по черной и цветной металлургии, 1957.

14. П. В. Дренов, Справочник по ремонту электрических машин, Госиздат технической литературы УССР, Киев, 1958.

15. М. В. Смирнов, Контроль и испытание обмоток электрических машин и аппаратов, Госэнергоиздат, 1959.

16. Ф. В. Куликов и И. Р. Лехциер, Основные методы мягкой и твердой пайки, Трудрезервиздат, 1958.